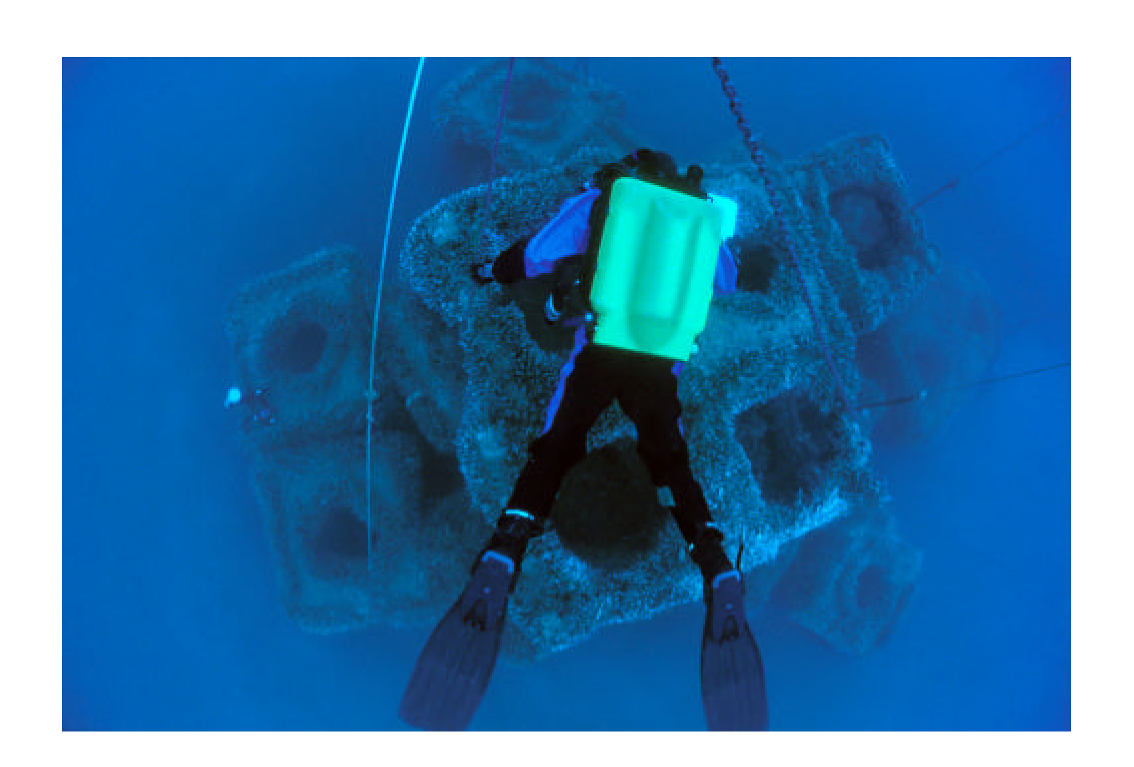
www.FFESSM.fr
COMMISSION Technique

Avec
ou
sans bulle ?



Eric BAHUET
Novembre 2003

Remerciements

Plusieurs personnes m'ont apporté leur contribution qui a bien souvent dépassé la seule réalisation de ce mémoire.

Je remercie donc :

Christine, Adrien et Maxime qui me permettent de vivre ce sport comme une passion,

Francis CARLES qui m'a initié à la plongée,

mes parrains : Pierre GIRODEAU et Robert SEVERIN

mon partenaire de plongée en recycleur : Jean Marc BELIN

ainsi que le comité de relecture qui m'a fait part de ses remarques et conseils avisés :

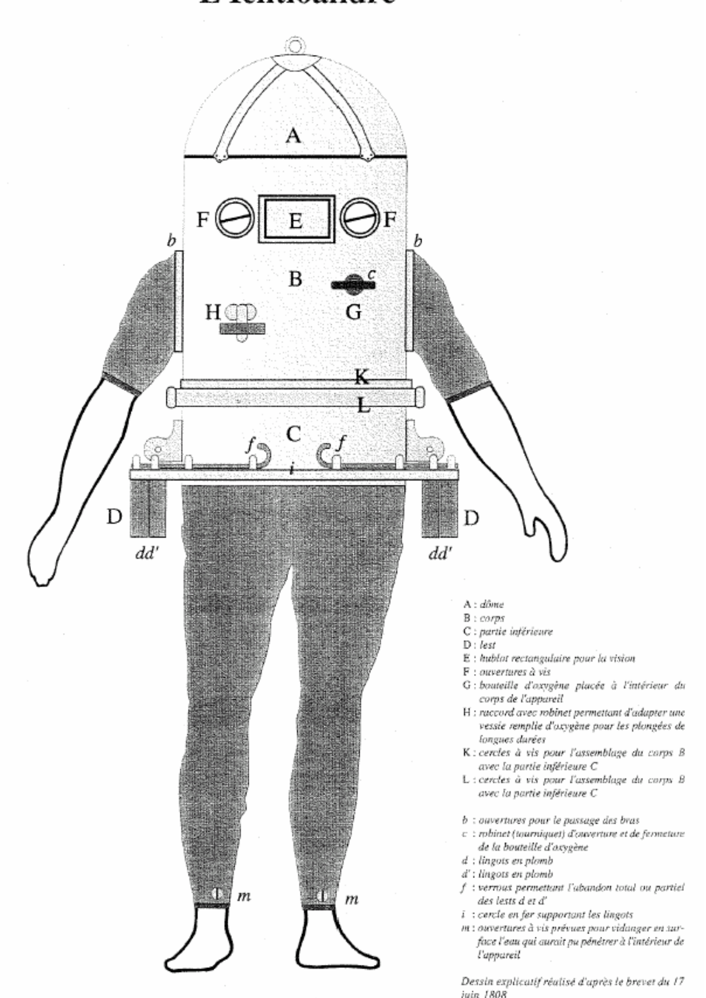
Patricia BRETON
Raymonde et Francis CARLES
Jean François CAVANNA
Christian FERCHAUD
Alain FORET
Jean Pierre IMBERT
Miroslav MAKAR
Jean Pierre MONTSENY
Henri PAOLE
Philippe ROUSSEAU
Hervé VILLALBA

Version du 19 octobre 2003
Photographie de couverture : Pierre DESCAMP
(suivi scientifique des récifs artificiels du Golfe d'Aigues Mortes)

Table des matières

INTRODUCTION

Le moins que l'on puisse dire, c'est que le principe des recycleurs n'est pas nouveau ! Le 17 Juin 1808, un brevet d'invention d'un nouvel appareil plongeur est délivré à un français, Sieur Touboulic (« les plongeurs de l'histoire », Philippe Damon). Ce mécanicien, attaché au service de la Marine à Brest, vient tout simplement d'inventer le premier recycleur subaquatique de l'histoire. Une réserve d'oxygène est placée à l'intérieur de l'appareil et son dosage est assuré manuellement par le plongeur. Le dioxyde de carbone, issu de l'expiration, est absorbé par des éponges imbibées d'eau de chaux. Le Sieur Touboulic dénomma son invention « l'Ichtioandre » (homme-poisson).



L'invention de l'anglais Henry Fleuss, qui date de 1879, est souvent citée comme référence. Elle est également remarquable puisqu'il s'agit du premier recycleur commercialisé pour le compte de la société Siebe Gorman.



Recycleur Fleuss
www.therebreathersite.nl

Il a fallu attendre quelques années pour voir apparaître le premier appareil de type circuit ouvert de l'histoire. Il est attribué au tandem français Benoit Rouquayrol et Auguste Denayrouze. Les premiers appareils ont été commandés par le ministère de la Marine le 28 août 1865 (« Trois inventeurs méconnus », Jacques Michel).



Appareil plongeur Rouquayrol-Denayrouze

Le circuit ouvert a connu un développement très important dans le monde entier comparé à celui du recycleur dont les quantités restent confidentielles dans le domaine sportif. Ce constat explique en partie notre méconnaissance envers les recycleurs, leur principe de fonctionnement et surtout leur intérêt dans le cadre d'une pratique sportive. Pourtant, nous en avons tous entendu parler et nous faisons généralement le parallèle avec les matériels militaires, connus pour leur discrétion…

Concrètement, ils restent bien peu utilisés. Et pourtant, parmi tous les efforts consentis par l'homme pour évoluer comme un poisson, c'est sûrement la technique qui permet de s'en approcher le plus !

Si vous vous intéressez aux recycleurs, votre première démarche sera probablement de consulter la littérature existante. Vous constaterez alors qu'il existe fort peu de documents en français sur le sujet. En revanche, Internet offre comme à son habitude l'accès rapide à un Himalaya d'informations, toutes disséminées aux quatre coins de la planète et quasiment systématiquement en langue anglaise. Nous saluons donc les initiatives françaises en communiquant en annexe la liste des sites qui ont aidé à la réalisation de ce document.

Nos collègues italiens, allemands et britanniques ont une avance indiscutable sur l'utilisation de ces matériels. Dès l'après guerre, les catalogues de fabricants comme Cressi proposaient des recycleurs à oxygène comme équipements sportifs ! Par ailleurs, la plongée sportive se développait en France avec le célèbre détendeur Cousteau-Gagnan (1943).

Actuellement, le marché de la plongée technique montre un engouement certain pour les recycleurs qui offrent de nouvelles perspectives d'évolution. Dans ce domaine les plongeurs anglais, allemands et italiens semblent avoir conservé leur avance. C'est d'ailleurs dans ces mêmes pays que l'on trouve la plupart des matériels actuellement commercialisés.

Réalisé dans le cadre de la formation menant à l'Instructeur National F.F.E.S.S.M., l'objet de ce mémoire est d'aider à une meilleure connaissance de ces matériels et par conséquence à une meilleure intégration dans nos cursus de formation.

La **première partie** a pour objectif de vulgariser les principes de fonctionnement des matériels actuellement commercialisés. Le lecteur intéressé par des matériels plus anciens, militaires ou de fabrications artisanales trouvera en annexe des adresses de sites lui permettant de compléter ses connaissances.

La **seconde partie** est plus spécifiquement destinée à mieux comprendre les possibilités d'utilisation au sens large des recycleurs : du choix du matériel à la plongée en structure sans oublier les risques spécifiques. Ce chapitre est également complété par des réflexions personnelles sur la mise en place d'une prochaine qualification fédérale ainsi que ses conséquences sur notre enseignement.

Les formations présentes en annexe sont pour la plupart des traductions d'agences internationales et sont plus particulièrement destinées à apporter des éléments de réflexion au groupe de travail « recycleur » actuellement missionné par la Commission Technique Nationale.

Notre fédération, première organisation de plongée en France, s'inscrit dans l'évolution avec la mise en place d'une qualification pour permettre à ses licenciés de s'initier ou de se perfectionner à la plongée «sans bulle» dans le respect de nos principes fondamentaux :

plaisir et sécurité.

PREMIERE PARTIE

Le recycleur, cette drôle de machine…

Un recycleur est, comme son nom l'indique, un appareil qui recycle ! Oui, mais quoi au juste ? En fait, le ou les gaz que nous lui donnons à recycler ! Pour bien comprendre l'intérêt et le principe de fonctionnement de ces recycleurs, nous ferons appel un bref instant à vos connaissances physiologiques.
Nous respirons à l'air libre un mélange composé d'environ 21% d'oxygène (comburant indispensable à la vie), et 79% d'azote. Ce dernier sert à diluer l'oxygène. La ventilation s'effectue chez l'adulte à un rythme d'environ 12 cycles par minute au repos et elle peut atteindre 25 cycles par minute au cours d'un effort intense. Une simple mesure à l'aide d'un appareil tel qu'un analyseur d'oxygène indique que nous rejetons environ 17% de ce gaz à chaque expiration. Cette valeur est considérable car elle représente environ 80% de l'oxygène disponible.
L'intérêt de réutiliser ces 17% est connu depuis toujours par les secouristes (technique du bouche à bouche) et les concepteurs de recycleurs.
De son côté, le dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO_2), produit du métabolisme, doit être évacué sous peine de devenir nocif. Sa production est estimée à environ 80% de celle de la consommation d'oxygène (soit 0.8 L/min de CO_2 produit pour 1 L/min d'O_2 consommé). Rappelons que c'est le taux de CO_2 détecté dans l'organisme qui est le déclencheur de la ventilation.
L'azote est un diluant et il n'intervient pas dans les échanges gazeux. Il fera son retour sur le devant de la scène lorsque nous aborderons le chapitre de la décompression !

Inspirés de ces constats, les concepteurs de recycleurs proposent des solutions techniques qui répondent toutes aux mêmes difficultés.

Elles sont au nombre de 3.

Il faut :

1 => récupérer le gaz expiré

2 => fixer le CO_2 produit par l'organisme

3 => ajouter de l'oxygène pour compenser la part métabolisée par l'organisme

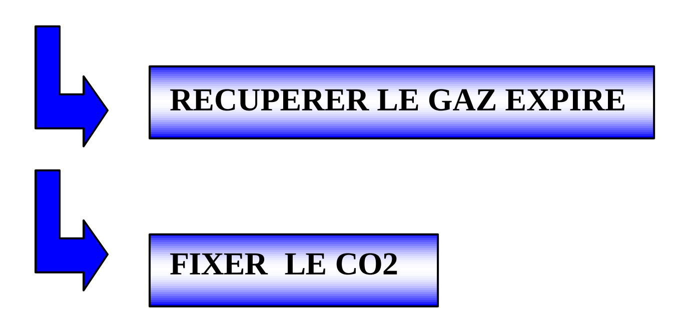
Le «recyclage » du gaz utilisé va permettre de le réutiliser. Nous verrons plus loin dans quelle mesure.

Dans un souci de simplification, nous aborderons dans un premier temps les deux premiers points. Ils rassemblent les techniques communes à tous les recycleurs. Le 3ème point est spécifique aux matériels et nous permet de les classer en deux grandes familles :

1. **les recycleurs de type circuit fermé**
2. **les recycleurs de type semi fermé**

Les exemples qui illustrent ce mémoire sont tous empruntés aux matériels de type loisir, actuellement produits en série et commercialisés.

LA TECHNIQUE COMMUNE A TOUS LES RECYCLEURS



LA TECHNIQUE SPECIFIQUE AUX RECYCLEURS

AJOUTER DE L'OXYGENE

- **AVEC LES CIRCUITS FERMES**
  - **OXYGENE PUR**
  - **AU MELANGE (ELECTRONIQUE)**
- **AVEC LES CIRCUITS SEMI FERMES (MELANGE)**
  - **PASSIFS ou «l'injection à la demande»**
  - **ACTIFS ou «l'injection en continu»**

La technique commune à tous les recycleurs

Détaillons maintenant les techniques parfois complexes, mais toujours astucieuses, employées pour matérialiser un concept basé sur la simple analyse de notre respiration.

1ère technique commune : la récupération du gaz expiré

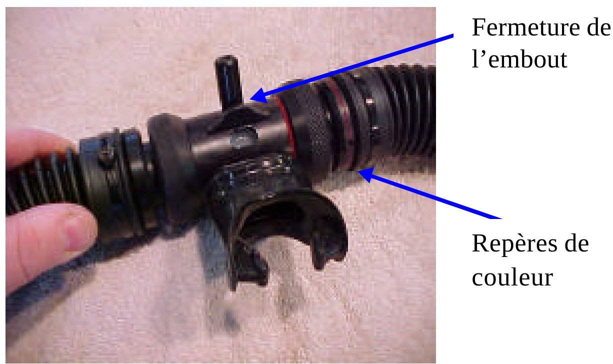
Respirer dans un recycleur revient finalement à respirer dans un sac !
Pour y parvenir, plusieurs éléments sont nécessaires : ils constituent ce que l'on appelle **la boucle respiratoire**. Elle est composée de l'embout, des tuyaux annelés, du ou des faux poumons et de l'absorbant de CO_2. Il s'agit en fait de l'ensemble des éléments contenant le gaz qui va être respiré par le plongeur.
Pour être complet, il convient d'ajouter à ces éléments mécaniques, un élément anatomique d'importance : les poumons du plongeur.

- les tuyaux annelés et l'embout :

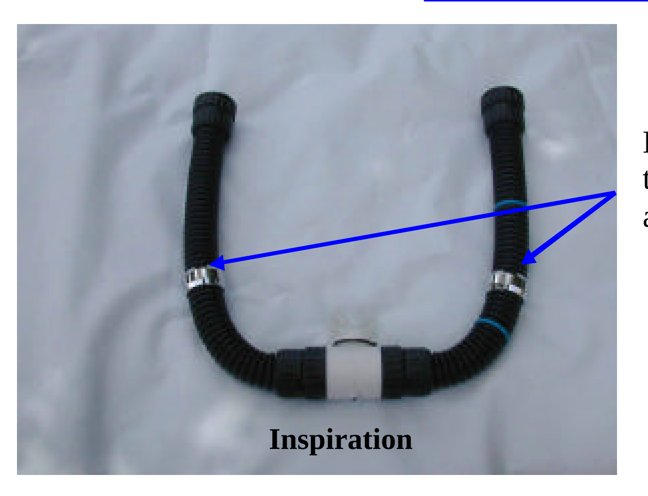
Premiers composants de la boucle, ils permettent de récupérer le gaz qui vient d'être expiré par le plongeur.
Aujourd'hui, la plupart des constructeurs s'accordent sur la technique éprouvée d'un tuyau annelé d'inspiration et d'un tuyau annelé d'expiration. La forme modelée (canules) des tuyaux est destinée à prévenir leur écrasement et à permettre les mouvements de la tête. Ils sont montés autour d'un embout équipé de soupapes anti-retour. Elles permettent ainsi une circulation du gaz en sens unique pour ne pas mélanger le gaz chargé de CO_2 avec celui qui vient d'en être épuré, après son passage au travers de l'absorbant de CO_2. Même si des détrompeurs mécaniques et des repères de couleur sont prévus afin de ne pas se tromper lors du montage après un entretien, une vérification avant la plongée est très fortement conseillée.
Un dispositif permet de fermer l'embout de manière à éviter toute entrée d'eau si celui-ci venait à être retiré en immersion.



Azimuth



Azimuth



Inspiration

Les bagues lestées contrebalancent la flottaison des tuyaux qui sont emplis de gaz en plongée. Ils sont ainsi maintenus en dehors du champ visuel.

- Le ou les faux poumons :

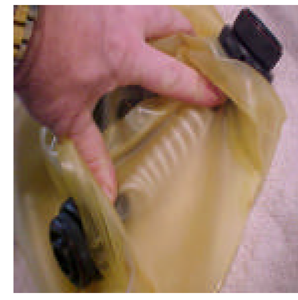
Au nombre de 1 ou 2, ils sont connectés aux tuyaux annelés et sont construits dans un matériau souple afin de rendre possible l'inspiration et l'expiration. Faites l'expérience qui consiste à tenter de respirer dans une bouteille en verre et vous comprendrez l'intérêt de les avoir fabriqués dans un matériau souple ! Leur volume doit permettre la plus ample des ventilations. Certains constructeurs proposent plusieurs tailles en fonction de la morphologie du plongeur.

La technique évolue : certains faux poumons sont translucides pour faciliter la maintenance, d'autres pourvus de câbles en spirale (voir ci-dessous) pour éviter qu'ils ne se recroquevillent sur eux-mêmes. Ils constituent une pièce vitale du dispositif et ils doivent être protégés en conséquence par un boîtier rigide ou une enveloppe en tissu résistant.

Lorsqu'ils sont placés entre le tuyau expiratoire et la cartouche absorbant le CO_2, ils remplissent une fonction complémentaire de piège à eau.

www.nobubblediving.com





Azimuth



Halcyon RB80
(2 faux poumons concentriques)



La position des faux poumons par rapport aux poumons est déterminante pour le confort respiratoire : ils doivent se situer au même niveau sous peine de créer un différentiel de pression et ainsi rendre la respiration difficile. S'ils sont placés dans le dos, l'inspiration en position horizontale demandera plus d'efforts que l'expiration (certains constructeurs comme Halcyon ont compensé ce défaut sur certains modèles par la mise en place de faux poumons lestés). S'ils sont placés sur la poitrine, le phénomène sera inversé.

Ces éléments constituent une « prolongation mécanique » de l'appareil respiratoire. Ils nécessitent d'être régulièrement démontés et désinfectés, surtout si l'appareil est partagé par plusieurs utilisateurs.

2ème technique commune : la fixation du CO_2

Il n'existe pas, à ce jour, de capteurs de CO_2 dans les recycleurs. La solution mise en place vise un seul objectif : nous **prémunir du risque hypercapnique**. Souvenons-nous des moyens à la fois basiques et ingénieux qui ont été mis en œuvre en urgence dans la capsule

d'Apollo 13 pour retenir le CO_2 dont la teneur devenait inquiétante : une couverture de plan de vol, des cartouches d'hydroxyde de lithium, du ruban adhésif, des pochettes plastiques, et même une chaussette…

Il y a plusieurs possibilités chimiques connues depuis longtemps des spécialistes pour réaliser cet exercice.
Chaque fabricant propose sa propre solution en fonction de la performance recherchée versus le coût du produit.

- l'hydroxyde de Barium $Ba(OH)_2$
- l'hydroxyde de Lithium, utilisé dans l'industrie aérospatiale, très efficace mais onéreux : LiOH
- l'hydroxyde de sodium NaOH
- l'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2$

La plupart de ce qui est couramment appelé chaux sodée est en fait un mélange composé **d'hydroxyde de sodium** (NaOH, à hauteur de 3-4%), **d'hydroxyde de Calcium** ($Ca(OH)_2$) pour environ 70 à 80%) et d'**eau** (H_2O, de l'ordre de 10 à 20%).





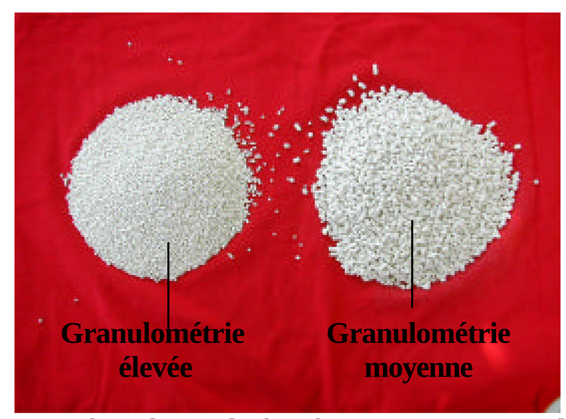
Ces produits ont un inconvénient majeur : ils produisent de la soude en présence d'eau ! La littérature emploie le terme de « cocktail caustique » !

Ces éléments chimiques ont toutefois la particularité de réagir en présence de gaz acides comme le CO_2.
Une réaction exothermique se produit alors en **plusieurs étapes** et transforme le CO_2 en élément stable pour le fixer.

Le dioxyde de carbone réagit avec l'eau présente dans l'absorbant et la vapeur d'eau provenant de l'expiration pour donner de l'acide carbonique. Cette première étape est essentielle et conditionne la suite des opérations.
La performance de la réaction diminue avec une faible température extérieure. C'est une des raisons pour laquelle il est conseillé de respirer plusieurs minutes dans le recycleur avant son utilisation : on prend ainsi l'habitude de « chauffer sa chaux » pour démarrer la réaction chimique.
Il y a ensuite 2 étapes qui s'exécutent en parallèle :

1. L'hydroxyde de sodium réagit avec l'acide carbonique pour donner du carbonate de sodium et de l'eau tout en dégageant de la chaleur. Avec un recycleur nous respirons donc un mélange tiède et humide : c'est un élément de confort non négligeable en comparaison avec un circuit ouvert ou l'on respire un gaz plutôt froid et sec.
2. L'hydroxyde de calcium réagit avec l'acide carbonique pour donner du carbonate de calcium (même composant chimique que la craie) et de l'eau tout en dégageant de la chaleur.

Les produits des fabricants cherchent à se distinguer par leur capacité d'absorption, par des indicateurs de couleur qui sont censés varier en fonction de l'utilisation, par la granulométrie et la forme des granulés. Tout ceci vise à maximiser les performances tout en assurant un débit suffisant des gaz à travers l'absorbant pour ne pas pénaliser le travail respiratoire. La granulométrie représente le nombre de granules sur une surface donnée. Ainsi plus le nombre de granules est important, plus la taille est petite et plus la surface d'absorption est importante.



Un produit de qualité présente peu ou pas du tout de poussière de chaux. Ces poussières peuvent pénétrer facilement dans tout le système (y compris les poumons), colmater les filtres, et mêmes devenir corrosives avec l'humidité ambiante !

A ce sujet, il est conseillé d'effectuer le remplissage de la chaux dans un endroit ventilé de manière à ce que les quelques poussières résiduelles puissent s'évacuer lors du remplissage. Une méthode complémentaire consiste tout simplement à utiliser un tamis. Il est vital de suivre à la lettre les préconisations de durée ou d'utilisation des fabricants qui sont toutes données avec des restrictions d'usage liées :

- au type de recycleur utilisé
- à la production individuelle estimée de CO_2 (une production importante diminue l'autonomie)
- à la température d'utilisation (le froid diminue la performance de la chaux)
- à la date de péremption

Comme toujours, il ne faut utiliser que des produits de qualité plongée.

Exemple : le recycleur « Inspiration » avec sa cartouche d'origine et l'emploi d'une chaux de granulométrie spécifique (1-2,5 mm) est donné pour 3 heures d'utilisation dans une eau à 4° C avec une production individuelle de CO_2 n'excédant pas 1,6 litre par minute.

Cette durée ne peut pas être extrapolée si la température de l'eau est plus chaude. Par contre, si la température de l'eau est plus froide, il faut réduire le temps d'utilisation. Cette estimation est laissée à la libre appréciation de l'utilisateur… Une attention toute particulière est apportée au suivi de l'utilisation de cette chaux. Tous les plongeurs qui utilisent un recycleur enregistrent dans leur carnet de plongée ce temps.

Une granulométrie de moindre qualité diminue également la durée d'utilisation. Il ne faut surtout pas se fier aux éventuels changements de couleur dont les variations sont des plus difficiles à apprécier par l'utilisateur. Par ailleurs, elles sont souvent plus liées à l'humidité qu'au dioxyde de carbone. Les recommandations de stockage, gage de la durée de vie de la chaux, sont également très importantes : emballage étanche, stocké dans un endroit propre et sec à une température constante, à l'abri de la lumière directe du soleil,…

L'absorbant contient généralement moins de 4 % d'hydroxyde de sodium. Il n'est donc pas considéré comme un matériau caustique. Il peut donc être expédié comme toute substance non dangereuse.

Des fabricants proposent actuellement un nouveau produit qui est en fait constitué des mêmes éléments chimiques mais il utilise un support rigide. Il remplace les granulés et élimine définitivement les poussières tout en simplifiant à l'extrême le remplissage. Il suffit de changer une cartouche, un peu à la manière du filtre à air d'une voiture. Des kits de conversion existent déjà pour les recycleurs Dräger, Azimuth et sous peu pour l'Inspiration.

Exhaled air stream
CO2 and Air
Diffusion Screen
RPC
Adsorbent Material
with factory-molded
channels
Scrubber Canister

www.extendair.com

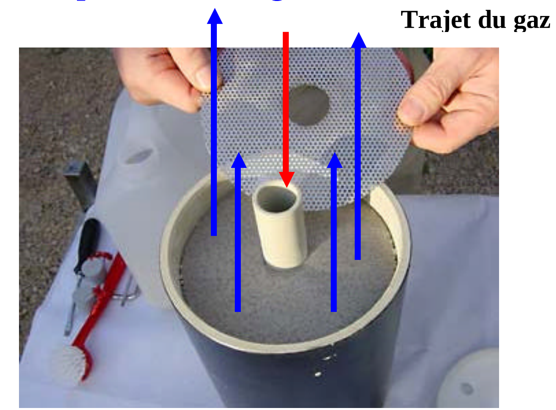
Son prix est à ce jour supérieur aux granulés habituels mais parions qu'avec l'aide de la concurrence, les prix deviennent comparables au support classique d'ici peu.

- la cartouche de l'absorbant de CO_2

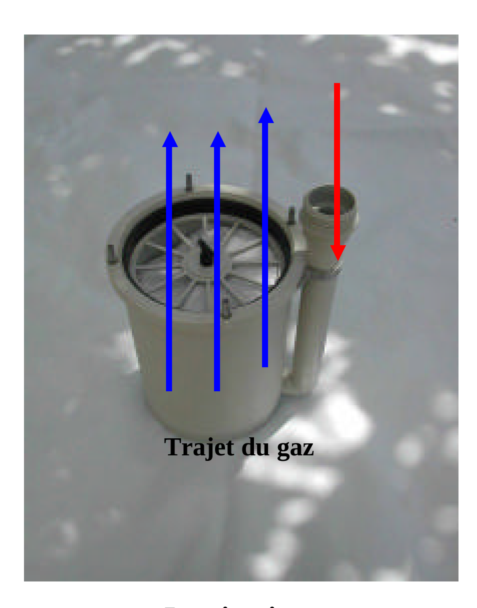
Quel que soit le matériau utilisé (PVC, Inox…), son rôle est de contenir l'absorbant et d'optimiser le passage du flux des gaz au travers de l'absorbant. C'est l'un des éléments majeurs de la conception des recycleurs. Des différences sont perceptibles au niveau du flux généré (longitudinal, radial) et donc du parcours que doit suivre le gaz pour être filtré de manière optimale. Les conceptions se distinguent également par leur capacité à conserver la chaleur nécessaire à la réaction chimique.

Exemple de flux longitudinal :

Trajet du gaz



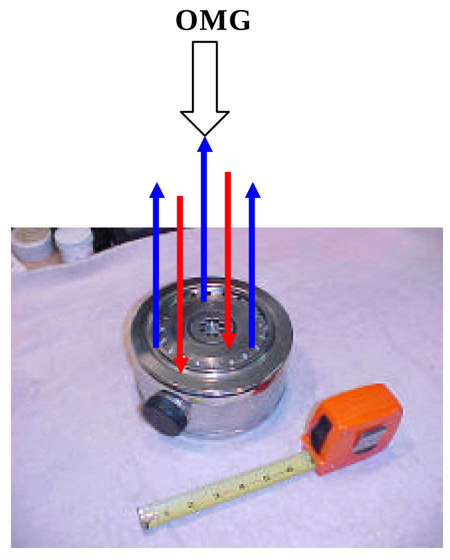
Halcyon RB80



Inspiration

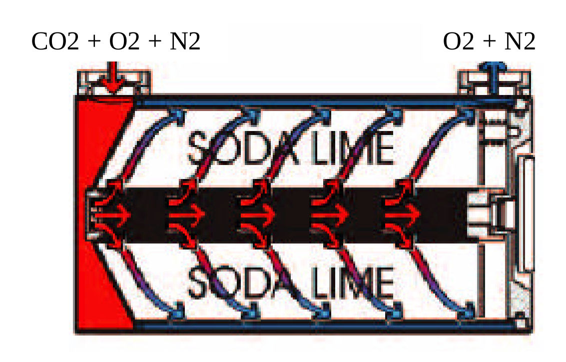


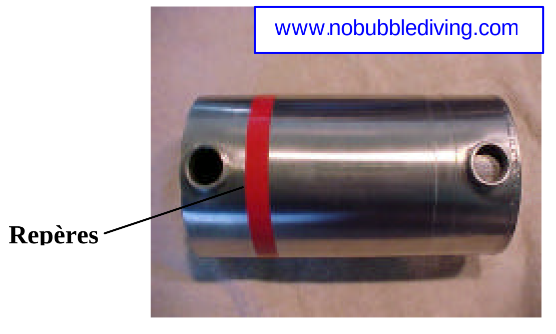
OMG



www.nobubblediving.com

Exemple de flux de type radial (Azimuth) :
(SODALIME = absorbant)





Azimuth

La conception de la boucle est importante car elle influe directement sur le travail respiratoire du plongeur. Tous les éléments qui la constituent sont autant d'obstacles à la libre circulation du gaz. Contrairement au circuit ouvert, il n'y a pas d'asservissement mécanique permettant de faciliter l'inspiration. Ici, ce sont les muscles du plongeur qui doivent produire les efforts pour remplir et vider les faux poumons. Vous l'avez compris, les travaux sous marins et la lutte contre le courant ne constituent pas les terrains de jeux privilégiés des recycleurs.

La technique spécifique : l'ajout d'oxygène ou d'un mélange suroxygéné

C'est le cœur du système et c'est ce qui différencie réellement les recycleurs entre eux. Maintenir un niveau d'oxygène viable dans un recycleur est une tâche au moins aussi délicate à réaliser que la fixation chimique du CO_2.

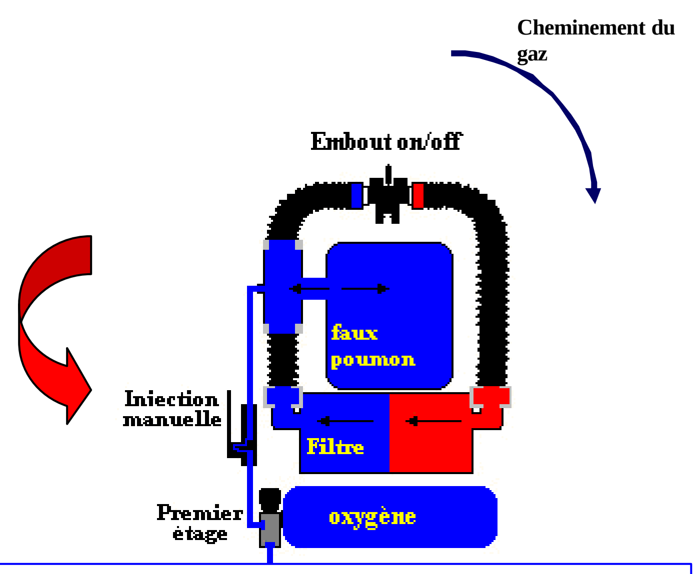
La solution technique mise en place doit nous **prémunir du risque hypoxique et du risque hyperoxique.**

Pour détailler cette technique, nous aborderons successivement :

- les recycleurs de type **circuit fermé :**
  - **à oxygène pur**
  - **au mélange (ou à gestion électronique)**
- les recycleurs de type **circuit semi fermé**
  - **les modèles actifs**
  - **les modèles passifs**

LE RECYCLEUR OXYGENE A CIRCUIT FERME :

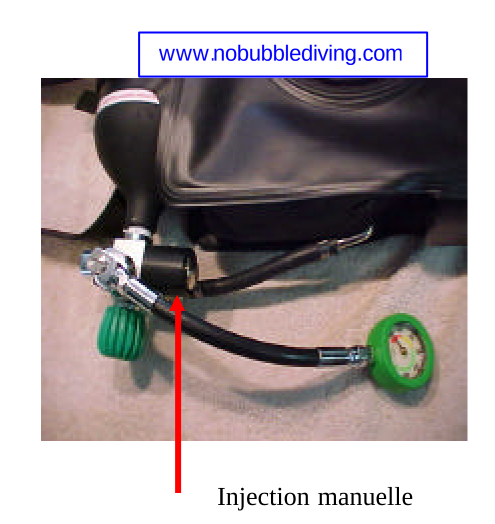
- **à injection manuelle**



home.worldcom.ch/intruder/ARHsuisse-fichestechniques-photos.htm

C'est la technique d'injection la plus simple. Elle consiste à actionner manuellement un levier ou un bouton poussoir afin d'introduire la quantité d'oxygène souhaitée par le plongeur dès que l'inspiration se fait difficile. Difficile l'inspiration ? Précisons qu'en s'immergeant le plongeur éprouve immédiatement le besoin d'injecter du gaz dans les faux poumons qui s'écrasent sous l'effet de l'augmentation de la pression ambiante. Cette situation se renouvelle à chaque augmentation de la pression ambiante.

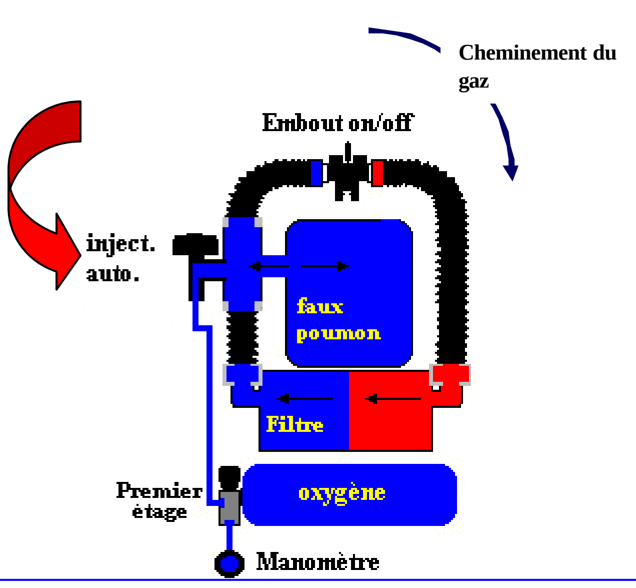
www.nobubblediving.com



OMG

Injection manuelle

- **à injection automatique**



home.worldcom.ch/intruder/ARHsuisse-fichestechniques-photos.htm

L'évolution technique consiste à remplacer la valve manuelle par un accessoire de type second étage de détendeur (auquel on a supprimé la soupape d'expiration). Un levier est actionné automatiquement lorsque le faux poumon diminue suffisamment de volume. Les recycleurs oxygène fonctionnent comme leur nom l'indique à l'oxygène pur. Leur utilisation se trouve donc limitée, du fait de la toxicité de l'oxygène, à la zone des 6 mètres (ppO_2 max. = 1,6 bar).

On remarque l'absence de purge sur le faux poumon unique, ce qui permet de considérer ces matériels comme les seuls vrais recycleurs à circuit fermé du marché. Si le plongeur remonte suffisamment lentement pour que son métabolisme consomme l'oxygène et compense l'expansion des gaz lors de la remontée, il n'y a aucune bulle générée : c'est la discrétion absolue ! Dans le cas contraire, il faut évacuer l'excédent de gaz par le nez ou autour de l'embout et il y a formation de bulles... fini la discrétion !

Remarquons qu'il n'y a aucune possibilité pour connecter un vêtement étanche.

Paradoxalement, même si l'ensemble fonctionne à l'oxygène pur, le **risque hypoxique** est bien réel !

Avant la plongée, il est vital de rincer l'air présent dans l'ensemble de la boucle (recycleur et poumons) par de l'oxygène. En effet, le gaz initialement présent dans le recycleur et les poumons du plongeur est de l'air. Vous recyclez donc de l'air qui peut devenir hypoxique bien avant que vous ne ressentiez le besoin d'injecter de l'oxygène ! Certaines Marines recommandent de faire un rinçage complémentaire toutes les 30 minutes pour évacuer l'azote potentiel de la boucle.

Avec une construction basée sur un minimum de pièces mécaniques utilisées, c'est un matériel simple, fiable, facile à mettre en œuvre et le moins onéreux de tous les recycleurs. Toutefois, il ne demande pas moins de rigueur d'utilisation que ses cousins plus perfectionnés.

Ci dessous un modèle actuellement fabriqué par OMG (Italie), qui propose une version loisir et une version professionnelle ou militaire moins « voyante ».



www.omg-italy.it

Citons à titre d'exemple le recycleur militaire F.R.O.G.S. (« Full Range Oxygen Gaz System »), remplaçant de l'oxygers. Il a été conçu et fabriqué entièrement par la Spirotechnique. C'est donc un pur produit français. Il a été mis en service en octobre 2002 et est actuellement utilisé par les célèbres nageurs de combat du commando Hubert.



F.R.O.G.S.

N'oublions pas non plus la famille des LAR « Lung Automatic Regenerator » de Dräger, qui est certainement la plus répandue dans le monde.



Dräger LAR V www.draeger.com

Incidences sur la décompression avec les recycleurs fermés oxygène :

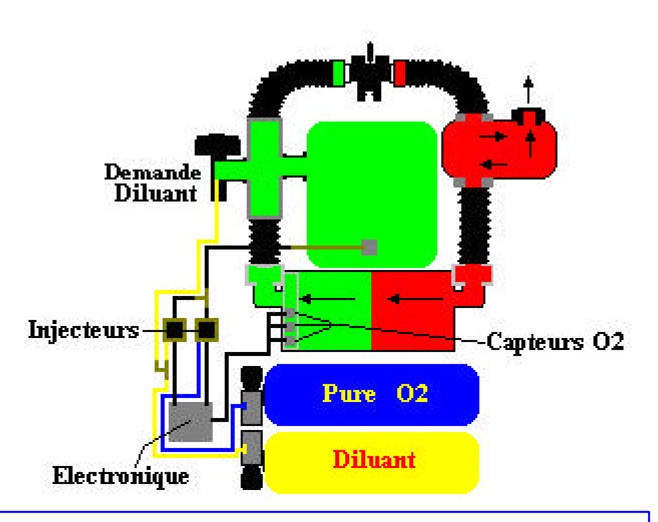
La décompression est générée par la quantité de gaz inerte dissoute dans l'organisme et qu'il faut restituer lors de la remontée afin d'éviter un accident de décompression.
Avec les recycleurs à oxygène pur, on ne respire pas de gaz inerte. Il n'y en a donc pas à restituer ! La procédure de décompression est donc réduite à sa plus simple expression : il n'y en a pas ! Encore mieux, après la plongée nous nous retrouvons avec moins de gaz inerte dans l'organisme qu'avant ! (il y a diffusion de l'azote dissous dans l'organisme vers les poumons).
Contrairement à la plongée bouteille, l'avion et l'apnée sont évidemment possibles dès la sortie de l'eau.
Par contre, le plongeur sportif est soumis à d'autres risques que nous traiterons au chapitre « les principaux risques » page 51.

LE RECYCLEUR CIRCUIT FERME AU MELANGE (OU A GESTION ELECTRONIQUE) :

Du fait de la nature du gaz respiré, le recycleur à oxygène pur est limité à l'espace proche. Pour augmenter son espace d'évolution, il est nécessaire de diluer l'oxygène. Plusieurs gaz inertes sont utilisables en tant que diluant et ce, en fonction du besoin et des procédures de décompression à notre disposition :

- l'azote. On reconstitue ainsi avec l'oxygène soit de l'air, soit un mélange suroxygéné (Nitrox)
- l'hélium pour constituer un Héliox
- un mélange d'azote et d'hélium pour constituer un Trimix

Par sécurité, on veillera à disposer d'un diluant respirable à la profondeur d'évolution.
Afin de maximiser l'autonomie, le recycleur le plus évolué ne devrait remplacer que la quantité d'oxygène métabolisée par l'organisme et recycler l'ensemble des autres gaz. C'est ce pari que les recycleurs fermés à gestion électronique veulent réussir.
Comment s'y prennent-ils ? Presque « simplement » : pour remplacer uniquement la quantité d'oxygène consommée il suffit de mesurer la fraction d'oxygène dans le système et de la compléter par ajouts successifs d'oxygène jusqu'à atteindre une valeur prédéfinie. Pour mesurer la fraction d'oxygène, on utilise des capteurs qui mesurent en fait la pression partielle (ppO_2). Malheureusement, ces capteurs ont une fiabilité limitée dans un environnement humide. La solution de redondance choisie consiste à multiplier le nombre de capteurs.



home.worldcom.ch/intruder/ARHsuisse-fichestechniques-photos.htm

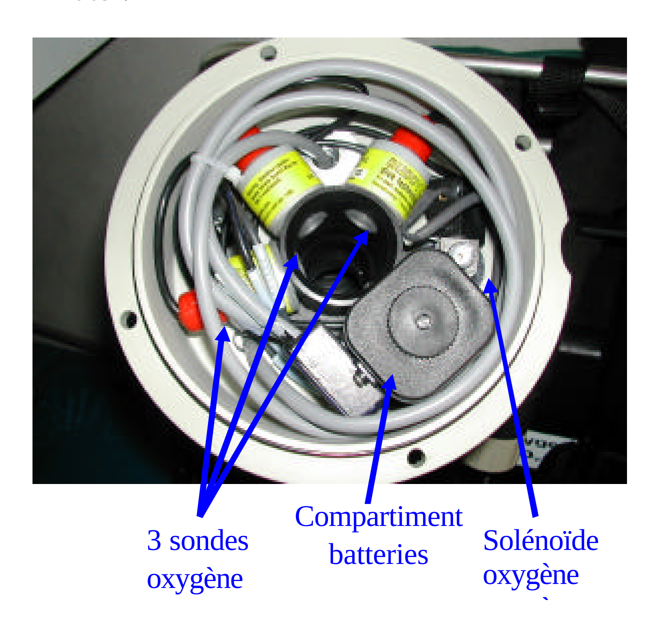
Ces appareils ont la caractéristique de délivrer l'oxygène en maintenant une pression partielle constante d'oxygène. Techniquement, cet ajout se réalise de manière chronométrée à l'aide d'une électrovanne. Ce système «temps réel» permet de réguler la ppO_2 à un seuil prédéfini appelé «setpoint». C'est le domaine du «sur mesure » : on travaille uniquement par différence en injectant seulement ce qui manque d'oxygène pour atteindre la valeur programmée. On fabrique le mélange en fonction des besoins et des efforts. De là à dire qu'il s'agit d'une usine à gaz, il n'y a qu'un pas !
En théorie, c'est l'appareil idéal car en maximisant la ppO_2 on diminue d'autant les pressions partielles des gaz inertes qui influent sur la décompression. Par contre, la mise en œuvre est complexe et les solutions utilisées sont peu compatibles avec l'élément liquide : l'électronique et l'électricité (après les appareils photos et les ordinateurs, c'est le tour des recycleurs…). Mais pour tout ceux qui utilisent ce type de matériel il faut reconnaître que la performance est au rendez-vous et est assez surprenante.

<u>l'injection pilotée par électronique</u> :

On trouve donc dans ces appareils :

1. des capteurs d'oxygène qui surveillent la ppO_2 en permanence
2. un mécanisme d'injection commandé électroniquement
3. une bouteille d'oxygène indépendante et une seconde bouteille remplie de diluant

Plusieurs possibilités techniques existent pour injecter l'oxygène. L'exemple que nous détaillons plus loin, le recycleur Inspiration dispose d'une injection réalisée par un solénoïde : c'est une électrovanne pilotée par électronique. Avec ce genre d'appareils on ne se soucie presque plus de la quantité de gaz à notre disposition mais plutôt de la qualité du gaz que l'on respire. Si pour une raison ou une autre, le système injecte trop ou trop peu d'oxygène, c'est l'hyperoxie ou l'hypoxie en perspective !
Pour éviter cette situation peu réjouissante, le constructeur a prévu plusieurs alarmes sonores et visuelles mais sa recommandation reste quand même de surveiller sa ppO_2 à l'aide des consoles d'affichage 1 fois par minute !



Remarques :

- contrairement à d'autres recycleurs, le moyen permettant de surveiller sa ppO_2 est livré en standard !
- les contrôles de ppO_2 ne servent qu'à ajouter une certaine quantité d'oxygène. **Si toutefois la ppO_2 devenait trop importante aucune électronique n'est capable de la diminuer… (voir plus loin « des précisions sur l'oxygène »)**

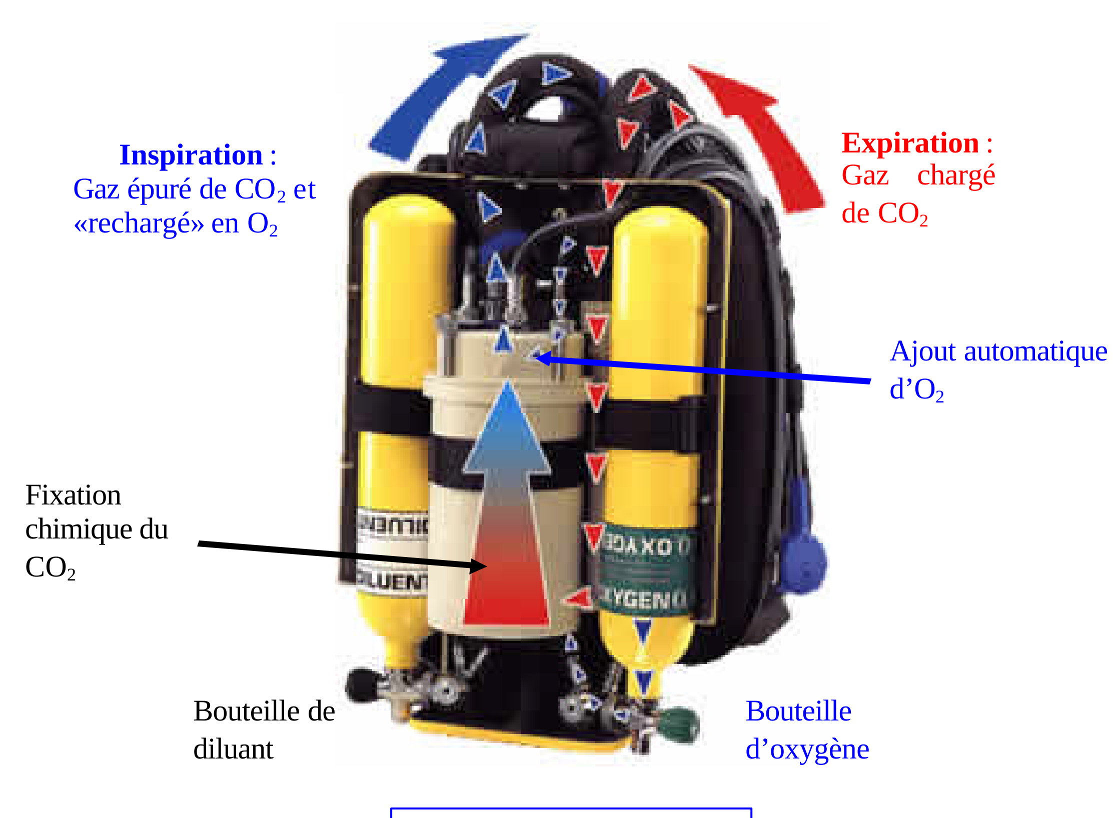
Pour l'Inspiration, il y a 2 seuils (« setpoints ») programmés par défaut : un setpoint « bas » (0,7 bar) pour la surface et la descente et un setpoint « haut » pour le fond (1,3 bar) et la remontée.

Une pression partielle d'oxygène de 1,3 bar ne peut être atteinte en surface où règne une pression atmosphérique de environ 1 bar. Si une mauvaise valeur est sélectionnée, le solénoïde fonctionne en continu pour essayer de l'atteindre. Cette erreur de manipulation entraîne un gaspillage d'oxygène et une diminution de la durée de vie des piles. Sur cette machine, la permutation entre les 2 setpoints se fait manuellement.

La bouteille de diluant peut être remplie avec différents gaz : de l'air, de l'Héliox, ou un Trimix. Il n'y a pas de limite théorique d'utilisation liée à la profondeur, l'ensemble fonctionnant à pression ambiante (rappelons à toutes fins utiles que la profondeur limite d'évolution en Trimix imposée par l'arrêté d'août 2000 est de 120 mètres). Pour en savoir plus, le manuel d'utilisation du recycleur Inspiration a été traduit en Français par Jean Marc Belin et moi même et est consultable à l'adresse suivante :

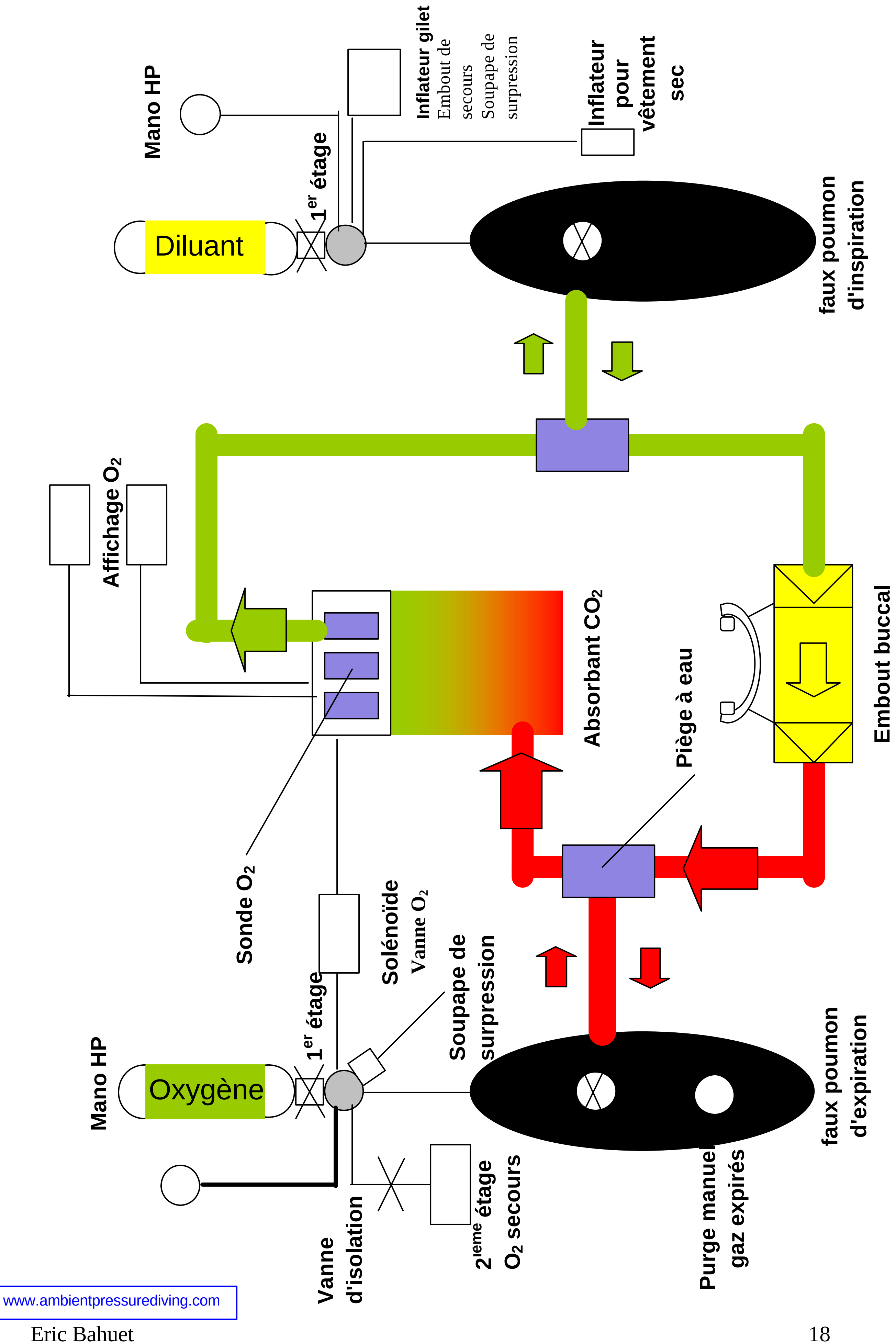
http://plongeesout.free.fr.
rubrique : articles/recycleur

Fonctionnement



SCHEMA DETAILLE DE L'INSPIRATION

Mémoire d'Instructeur National



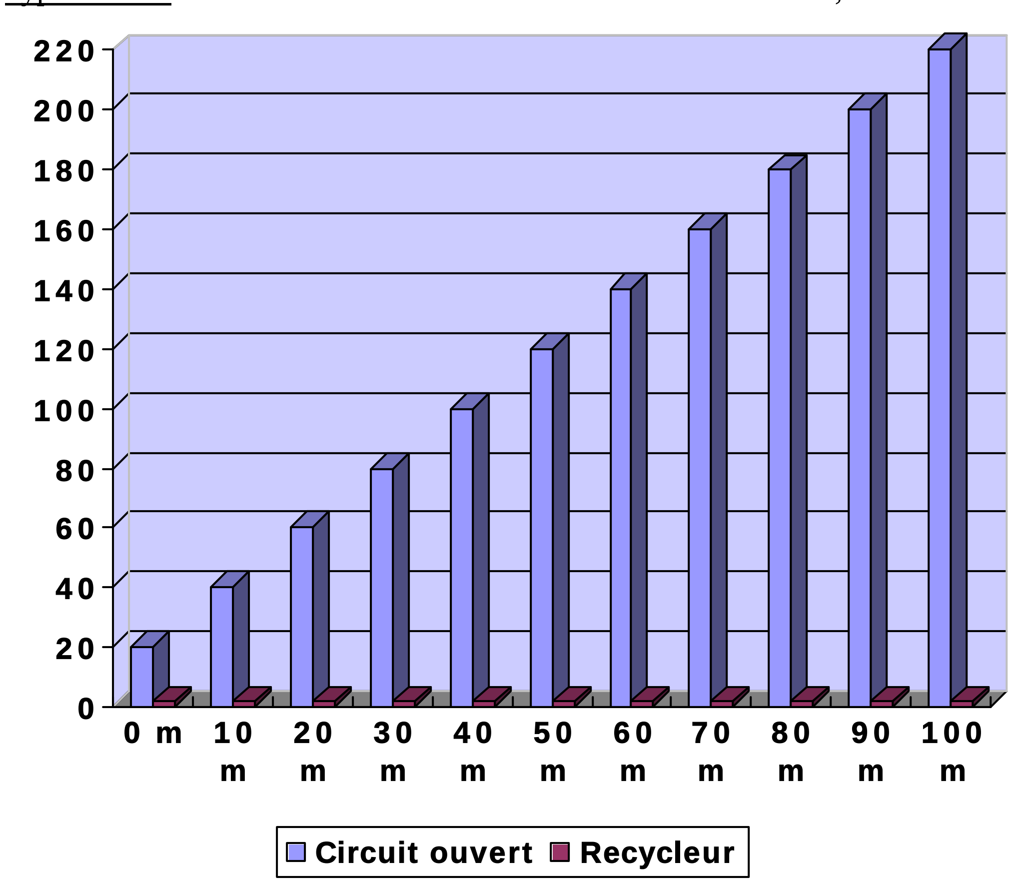
Revenons sur le principal intérêt d'un tel recycleur :

L'autonomie : la bouteille d'oxygène fournie avec l'Inspiration est d'une capacité de 3 litres à 200 bars soit 600 litres. En prenant une hypothèse de consommation maximale d'oxygène de l'ordre de 3 litres par minute, nous bénéficions d'une autonomie théorique de 200 minutes (3h20 !) et ce, quelle que soit la profondeur !!! La consommation d'oxygène est indépendante de la profondeur. En réalité, nous ne pouvons soutenir sous l'eau un effort entraînant une consommation de 3 litres par minute. En se basant sur une consommation plus réaliste de 1,5 litre par minute d'oxygène (voir Annexe 1), l'autonomie atteint 400 minutes, soit plus de 6 heures et demie !

Dans la pratique, comme c'est souvent le cas avec les recycleurs, c'est la capacité et la performance de l'absorbant de CO_2 qui limitera la plongée : de l'ordre de 3h00 dans le cas de l'Inspiration. L'autre facteur limitant sera le temps d'exposition à l'oxygène et la toxicité associée.
Le diluant n'est pas consommé et est utilisé pour injecter du gaz dans les faux poumons à la descente, pour le gonflage de la combinaison sèche et de la bouée et à différentes opérations comme les « rinçages » de l'unité qui peuvent être effectués pendant la plongée. Pour information, nous consommons environ 30 à 40 bars de cette même bouteille de 3 litres lors d'une plongée !

L'AUTONOMIE THEORIQUE :
Comparaison d'une consommation en circuit ouvert et en circuit fermé

hypothèses : consommation de 20 L/min en circuit ouvert et de 1,5 L/min en circuit fermé



Remarque : cette comparaison reste théorique car elle indique une linéarité de la consommation en fonction de la profondeur avec un circuit ouvert, ce qui est loin d'être évident…

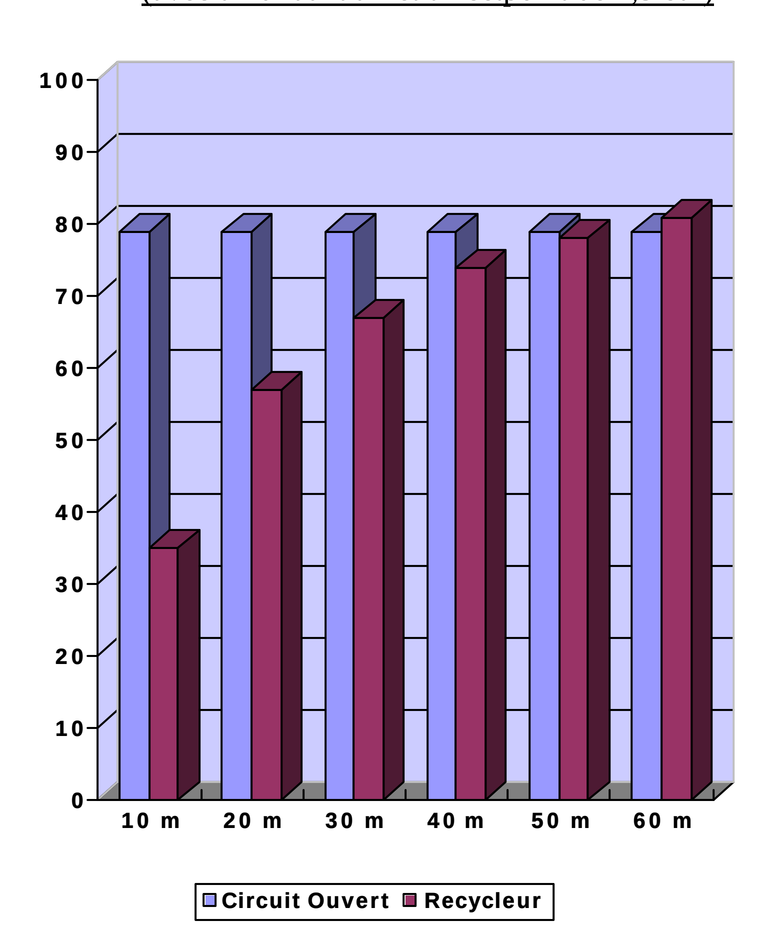
Incidences sur la décompression avec les recycleurs fermés à gestion électronique :

Tous les plongeurs le savent, on ne peut rester impunément sous l'eau sans avoir à respecter des paliers. La durée de ces paliers est dépendante du temps passé en immersion, du gaz respiré et de la profondeur d'immersion.

Du fait de la respiration d'un mélange à une pression partielle d'oxygène constante et contrairement à un circuit ouvert, les pourcentages d'oxygène et d'azote du mélange varient avec la profondeur. Ce recycleur nous fabrique, avec un diluant comme l'air, un mélange suroxygéné (Nitrox) optimal à toute profondeur. On minimise donc ainsi la quantité de gaz inerte dissoute dans l'organisme et donc la durée des paliers (comparativement au même temps effectué en circuit ouvert à l'air). Il est nécessaire de calculer sa décompression avec un ordinateur fonctionnant à ppO_2 constante ou avec des tables de plongées spécifiques.

On remarque dans le schéma ci-dessous que jusqu'à 50 mètres et avec une ppO_2 positionnée à 1,3 bar, le pourcentage d'azote respiré avec l'Inspiration est inférieur à celui respiré avec un scaphandre traditionnel. Au delà, c'est le contraire.

Pourcentage d'azote dans le mélange respiré
(avec un diluant air et un setpoint de 1,3 bar)



Nous abordons un autre point important : ce type de matériel nous ouvre de nouvelles perspectives en matière d'exploration. Quelles que soient les performances des matériels, le comportement en plongée doit être guidé par une seule règle :

« QU'EST-CE QUI SE PASSE SI…».

C'est le fameux « what if » des Anglo saxons. Il s'agit d'une approche basée sur l'analyse des risques.
L'arrêté d'août 2000 prévoit d'embarquer en plongée un circuit ouvert de secours (ou « bailout ») pour les plongées d'évolution qui se déroulent au delà de 40 m. La capacité de ce bailout doit donc être, en toute logique, adaptée à la plongée planifiée.

Des précisions sur l'oxygène et la ppO_2 :
Revenons sur la remarque : «si toutefois la ppO_2 était trop importante aucune électronique ne peut la diminuer.

En surface :
- Que se passe t-il lorsque nous respirons en surface avec un setpoint de 0,7 et un diluant qui est de l'air ?

⇨ nous respirons à la pression atmosphérique un mélange composé de 70% d'oxygène !
ppO_2 = pression atm. * % du mélange
donc % du mélange = ppO_2 ÷ pression atm.
soit 0,7 ÷ 1 = 0,7 soit 70 %)

A la descente : on doit injecter du diluant (de l'air dans le cas présent) pour compenser l'écrasement des faux poumons liée à l'augmentation de la pression ambiante.

- Que se passe t-il à 10 m ?

⇨ on respire le mélange initial que l'on recycle (ppO_2 à 0,7) auquel on ajoute la teneur en oxygène du diluant que l'on injecte (ppO_2 air = 0,21).
Donc ppO_2 = 0,7 + 0,21 = 0 ,91 (à 2 bars on a donc un mélange de 0,91 ÷ 2 = 0,455 soit environ 46 %)

- Que se passe t-il à 20 m ?

⇨ on respire le mélange précédent que l'on recycle (ppO_2 à 0,91) auquel on ajoute la teneur en oxygène du diluant que l'on injecte (ppO_2 air = 0,21).
Donc ppO_2 = 0,91 + 0,21 = 1,12 (à 3 bars on a donc un mélange de 1,12 ÷ 3 = 0,373 soit environ 37 %)

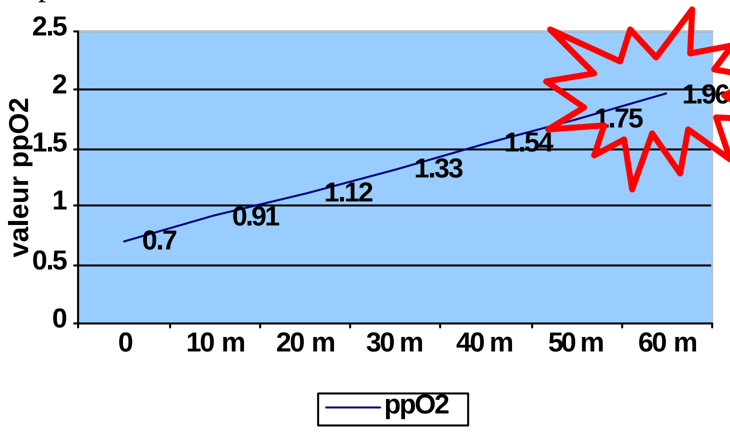
- Que se passe t-il à 30 m ?

⇨ on respire le mélange précédent que l'on recycle (ppO_2 à 1,12) auquel on ajoute la teneur en oxygène du diluant que l'on injecte (ppO_2 air = 0,21).
Donc ppO_2 = 1,12 + 0,21 = 1,33 (à 3 bars on a donc un mélange de 1,33 ÷ 4 = 0,332 soit environ 33 %)

- Que se passe t-il à 40 m ?

⇨ on respire le mélange précédent que l'on recycle (ppO_2 à 1,33) auquel on ajoute la teneur en oxygène du diluant que l'on injecte (ppO_2 air = 0,21).
Donc ppO_2 = 1,33 + 0,21 = 1,54 (à 5 bars on a donc un mélange de 1,54 ÷ 5 = 0,308 soit environ 31 %)

Cette suite répétitive de chiffres peut être représentée par un schéma indiquant **l'évolution de la ppO_2** en fonction de la profondeur :



Cette illustration montre que la pression partielle augmente continuellement et qu'à partir de 40 m, le plongeur est potentiellement en risque hyperoxique (nous faisons ici abstraction de la consommation d'oxygène par le métabolisme qui diminue quelque peu ces valeurs). Il est donc indispensable de

vérifier que le setpoint est positionné à la bonne valeur avant la plongée. Il existe des manœuvres qui permettent de limiter cette augmentation de ppO_2, ne serait-ce qu'en effectuant à la profondeur appropriée un rinçage du système avec le diluant air pour diminuer la ppO_2.
Exemple : rinçage à 40 m, ppO_2 = 5 x 0,21 = 1,05.
Bien que ce genre d'appareils séduise par son fonctionnement «tout automatique», il n'en est pas moins indispensable de suivre une formation adaptée.

Des précisions sur l'azote et la ppN_2 :

A **20 m**, avec une pression absolue de 3 bars et une ppO_2 fixe de 1,3 bar la ppN_2 est donc de 1,7 (3-1,3) bar soit une équivalence narcose de **12 m** (1,7 ÷ 0,79 = 2,2).
A **30 m**, avec une pression absolue de 4 bars et une ppO_2 fixe de 1,3 bar la ppN_2 est donc de 2,7 bars soit une équivalence narcose de **24 m**
A **40 m**, avec une pression absolue de 5 bars et une ppO_2 fixe de 1,3 bar la ppN_2 est donc de 3,7 bars soit une équivalence narcose de **37 m**
A **50 m**, avec une pression absolue de 6 bars et une ppO_2 fixe de 1,3 bar la ppN_2 est donc de 4,7 bars soit une équivalence narcose de **50 m**
A **60 m**, avec une pression absolue de 7 bars et une ppO_2 fixe de 1,3 bar la ppN_2 est donc de 5,7 bars soit une équivalence narcose de **62 m !**

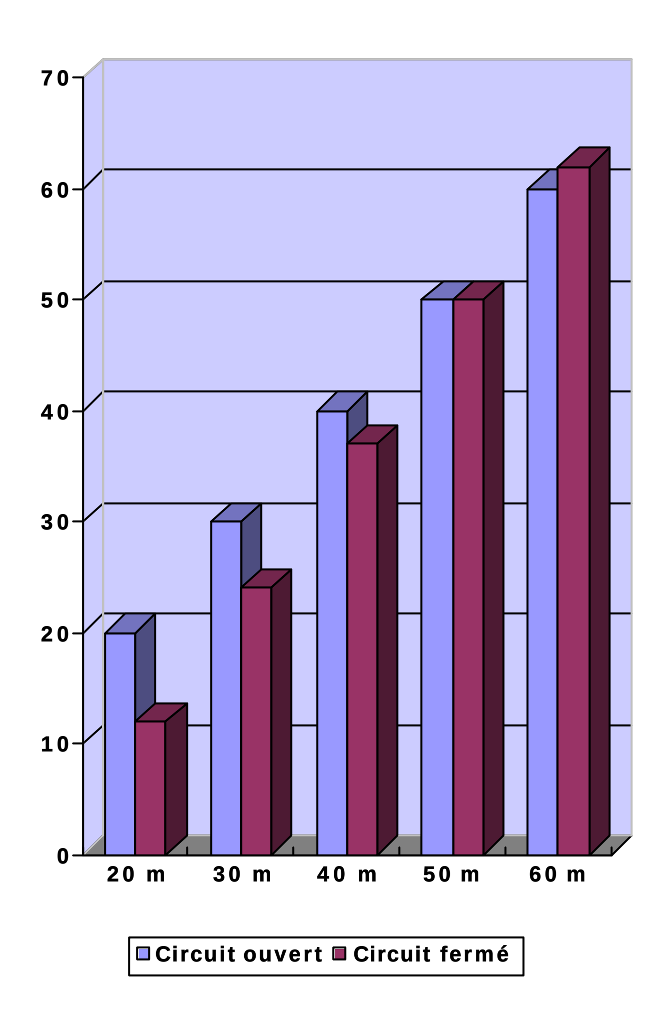


Illustration de ces données par un graphique (notion de profondeur équivalente)

Cela signifie que si l'on souhaite conserver toute sa lucidité en profondeur pour analyser toute alarme éventuelle et effectuer le bon geste en situation de stress, on envisagera rapidement l'emploi de mélange comme le Trimix. D'autant plus qu'en recyclant, son utilisation devient vraiment peu onéreuse.
Venant d'une culture « circuit ouvert », l'ensemble des automatismes et procédures de secours acquises au fil des ans sont à réapprendre…

Contrairement à une idée reçue, ce type de recycleur n'élimine pas la décompression. Son mode de fonctionnement spécifique permet simplement de maximiser la quantité d'oxygène assimilable par l'organisme et par conséquence de diminuer la quantité de gaz inertes à restituer.

- **décompression dans le cas où le diluant est de l'air :**

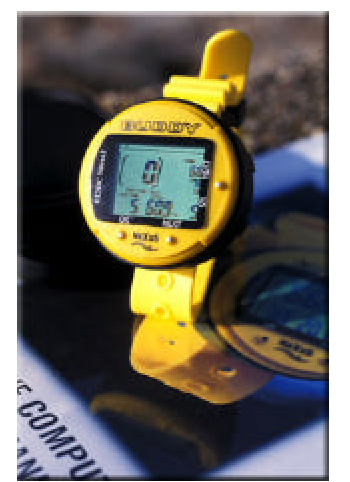
Cela revient à plonger avec un Nitrox dont la teneur en oxygène varie régulièrement… Il est donc nécessaire de disposer d'un moyen de décompression adapté à cette technologie.

Il existe à ce jour :

1. des tables à ppO_2 constante (US Navy, Annexe 2). Comme pour les plongées d'exploration à l'air, on privilégiera, par commodité, l'emploi d'un ordinateur.
2. des ordinateurs Nitrox que l'on peut paramétrer avec la valeur du mélange fond. Exemple : plongée à 30 m avec une ppO_2 de 1,3 => Nitrox 32 (1,3 ÷ 4 = 0,32). C'est évidemment très conservateur car le mélange fabriqué à la descente et à la remontée sera supérieur en pourcentage d'oxygène à 32%.
3. des ordinateurs fonctionnant à ppO_2 constante comme le Nexus de la société AP VALVES ou le récent VR2 de la société Delta P Technology.

Ils permettent une utilisation en mode circuit ouvert ou circuit fermé. Il sont cependant « limités » à une utilisation air ou Nitrox.

Nexus



www.ambientpressurediving.com



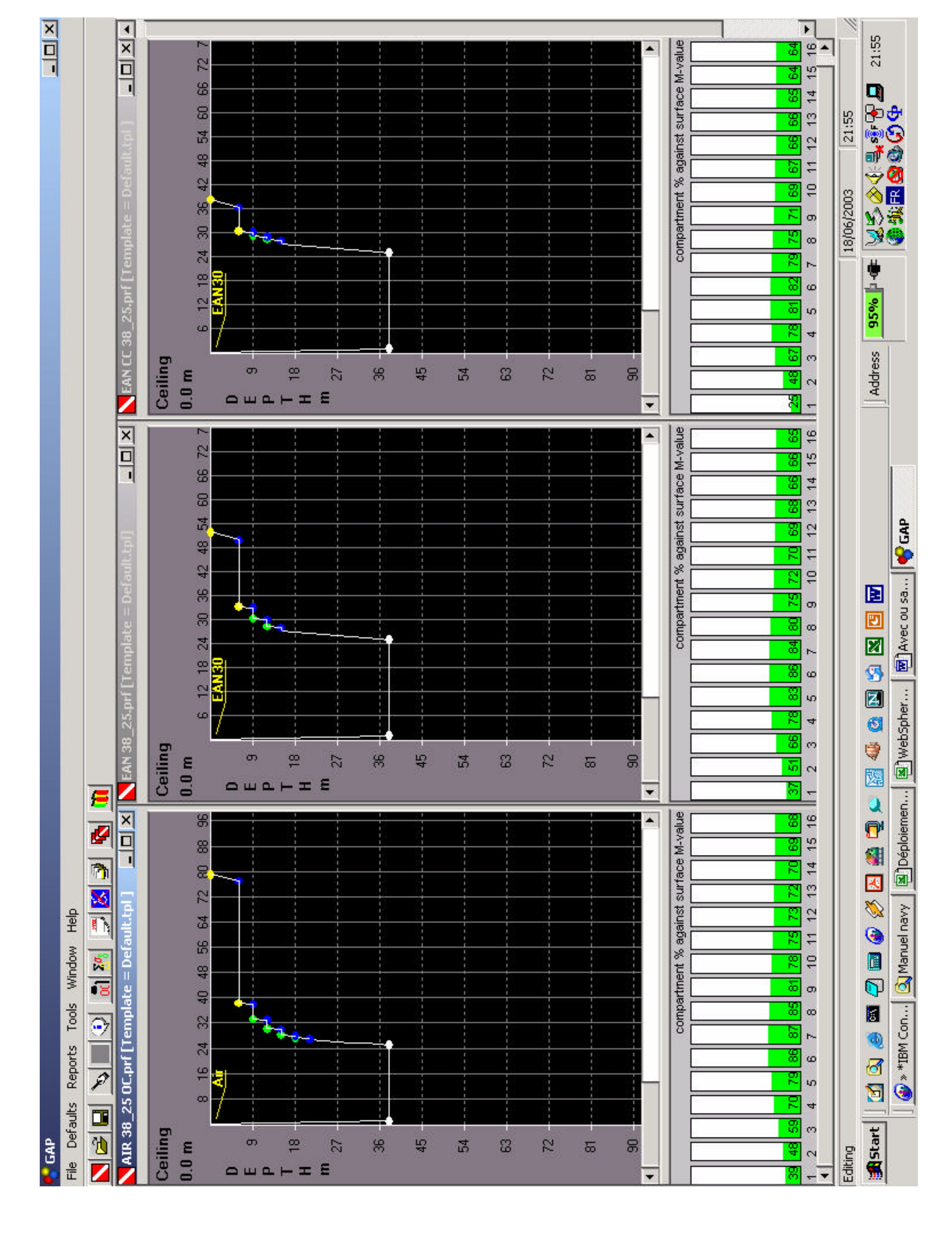
VR2

www.vr3.co.uk

<u>Exemple</u> : comparaison d'un profil de décompression d'une plongée à 38 mètres pendant 25 minutes avec un logiciel de décompression. Nous envisageons ici 3 scénarios :

- plongée et paliers en circuit ouvert à l'air. Temps total de plongée : 80 min pour 25 min passées au fond
- plongée et paliers en circuit ouvert Nitrox 30%. Temps total de plongée : 52 min pour la même exploration
- plongée et paliers en circuit fermé. Temps total 38 min pour 25 min d'exploration !

Autrement dit, ce matériel permet d'envisager de nouveaux profils de plongées : des explorations plus longues que des plongées effectuées en circuit ouvert pour un même temps de paliers, des explorations de durées identiques mais avec un temps de palier moindre…



- **décompression dans le cas où le diluant est un Trimix :**

On utilise alors les moyens « classiques » de décompression au Trimix :

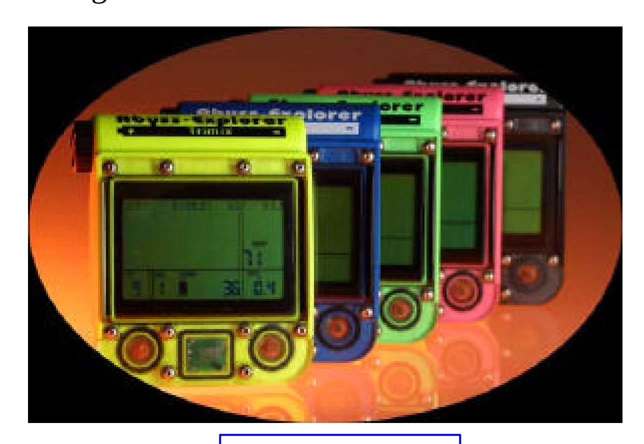
1. les tables : il n'y a pas de tables Trimix élaborées à ppO_2 constante ! On peut choisir d'utiliser des tables comme celles de l'agence américaine IANTD mais cela reste pénalisant du point de vue de la décompression.
2. les logiciels de décompression prenant en compte cette pression partielle constante (Abyss, Proplanner, Dplan, GAP…) avec la prudence qu'impose cette approche. L'utilisateur ayant le libre choix des paramètres de conservatisme et le libre choix des gaz utilisés. A ce niveau, cela devient une affaire de spécialistes. Mais ne l'ignorons pas, dans la pratique, les personnes initiées utilisent ces logiciels.
3. un ordinateur multi gaz prenant en compte la ppO_2 constante !
   Exemple : le VR3 de Delta P Technology.



www.vr3.co.uk

En standard, il autorise une procédure de secours en basculant en mode circuit ouvert. En option, il propose une connexion directe avec le recycleur qui lui permet, à l'aide de sa propre cellule oxygène, de connaître à tout instant la fraction d'oxygène respirée et d'en déduire la décompression adaptée (l'algorithme fonctionne sur une base Bühlmann avec ajout de paliers profonds). Dans le cas d'une utilisation multi gaz Trimix et Nitrox en décompression par exemple, il conviendra de lui indiquer manuellement le changement de diluant.

Autre exemple d'ordinateur de ce type, le modèle Explorer de la société Abysmal Diving Inc.



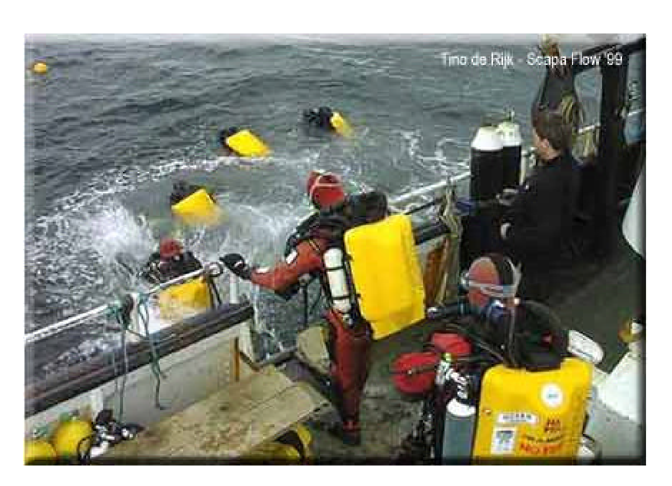
www.abysmal.com

Remarque : Il est important d'avoir à l'esprit qu'il n'existe pas de bases de données publiques de plongées effectuées à ppO_2 constante.

Exemple du seul recycleur à gestion électronique actuellement commercialisé :

Un seul modèle bénéficie de la norme CE pour une utilisation avec un diluant air à 50 m et un diluant Héliox à 100 m.

Il est fabriqué et commercialisé depuis 1998 par la société anglaise Ambient Pressure Diving : c'est L'Inspiration (anciennement dénommé Buddy Inspiration). Il ne peut être commandé qu'après avoir suivi une formation reconnue par la société. A ce jour les principales agences de formation proposent un cursus pour l'Inspiration : TDI, IANTD, IART...



www.ambientpressure diving.com
Tino de Rijk

Principales caractéristiques



2 bouteilles de 3 litres fournies (une d'oxygène pur et une de diluant)

Chaux sodée

Contrôle de la PPO_2 en temps réel par 3 sondes oxygène et injection d'oxygène pilotée par un solénoïde

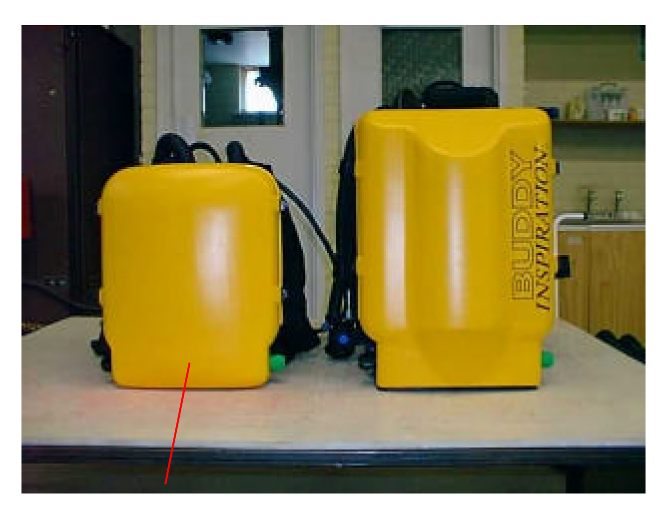


Redondance au niveau des ordinateurs de contrôle (notions de maître et d'esclave) ainsi que des consoles d'affichage.



Manomètres de contrôle diluant et oxygène

Le nombre d'unités vendues est une information jugée confidentielle par le constructeur et n'est donc pas communiquée. Le délai de livraison est de l'ordre de 14 semaines. Une version « grand public » est au stade de prototype. Il s'agit de l'Evolution. Il est doté de 2 bouteilles de 2 litres et d'un gilet de stabilisation classique.



Evolution

LE RECYCLEUR DE TYPE CIRCUIT SEMI-FERME :

Certains recycleurs ne fabriquent pas dynamiquement le mélange mais recyclent un gaz préfabriqué. Il s'agit très souvent d'un Nitrox mais rien n'empêche l'utilisation d'un Trimix. Dans le cas d'une utilisation multi gaz, il est nécessaire d'embarquer autant de bouteilles que de mélanges à recycler. Nous sommes dans ce cas, proche d'une configuration circuit ouvert. Ce qui, du point de vue de l'encombrement en réduit l'intérêt. La technique mise en œuvre est mécanique, ce qui constitue souvent un gage de simplicité et de fiabilité.

Ces recycleurs se distinguent par les techniques avec lesquelles ils injectent le gaz dans la boucle respiratoire. On les classe habituellement en deux catégories :

- **les systèmes actifs** qui injectent du gaz en continu (ou « constant mass flow »)
- **les systèmes passifs** qui injectent du gaz à la demande (« passive flow »)

Le pourcentage d'oxygène est connu puisqu'il s'agit d'un gaz préfabriqué et qui a été normalement vérifié avant la plongée. L'hyperoxie ne peut donc survenir qu'en cas de dépassement accidentel de la profondeur plancher.
Quelle que soit la technique utilisée, la difficulté à résoudre est toujours la même : fournir suffisamment de gaz pour ne pas tomber en hypoxie. Les constructeurs prennent une marge de sécurité en injectant une quantité de gaz supérieure à la demande. Il y a donc logiquement un excès de gaz dans le système qui doit être évacué périodiquement via une soupape. Cette « fuite » volontaire se traduit par l'apparition de bulles, d'où l'appellation **semi fermé** (qui aurait pu tout aussi bien s'appeler semi ouvert !).
On gaspille moins qu'en circuit ouvert mais on gaspille un peu quand même !

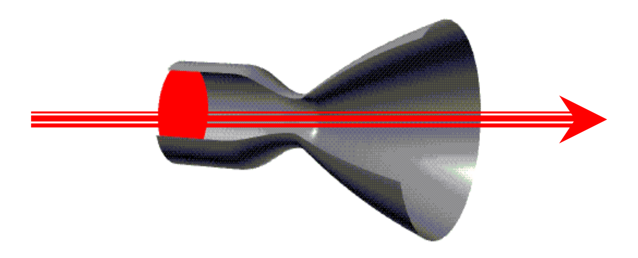
Les systèmes actifs : l'injection par débit massique constant ou « constant mass flow»

Cette technique consiste à ajouter à un débit constant la même masse d'un mélange donné dans la boucle respiratoire. Autrement dit, cela revient à y injecter un nombre constant de molécules et ce, quelle que soit la profondeur d' évolution. L'autonomie dépend uniquement de la quantité de gaz embarqué et du débit de l'injecteur.
L'injection est définie en fonction du mélange utilisé : plus il est riche en O_2, plus le débit est faible (en litre par minute) et inversement. Ceci dans le but de toujours fournir suffisamment d'oxygène à l'organisme du plongeur.

L'injection par débit massique constant peut se réaliser de différentes manières :

- 1ère méthode : elle consiste à utiliser des buses spécifiques (gicleurs) dont le diamètre est prévu pour laisser passer la quantité de gaz adéquate en fonction du mélange utilisé.

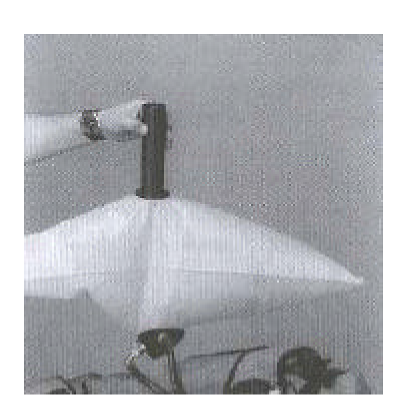
Pour que le débit soit constant, il est nécessaire que la pression en entrée de la buse soit 2 fois supérieure à celle de la pression ambiante. Contrairement à un détendeur classique, la moyenne pression est fixe. Si la pression en amont chute, le débit diminue et devient insuffisant pour acheminer la quantité nécessaire de gaz au plongeur. C'est l'hypoxie à court terme.



www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/mflow.html

L'orifice de la buse est le talon d'Achille de ce système. Il est si petit (moins de 0,2 mm) qu'il peut être facilement obstrué par le moindre débris, dépôt de sel, de calcaire... Une vérification du débit avant chaque plongée est recommandée (ainsi qu'une vérification périodique de la moyenne pression du détendeur).

Cette vérification peut se faire simplement à l'aide d'un débit mètre ou plus difficilement en chronométrant le temps de gonflage d'un ballon calibré :



Les informations suivantes sont fournies par Dräger (modèle Ray) pour vérifier le débit et ce, en fonction de la pression dans la bouteille de mélange utilisée. Si la valeur lue avec le débitmètre n'est pas dans la fourchette de valeur indiquée, il faut identifier et résoudre le problème avant toute plongée.

Pression dans la bouteille (bar)	Débit minimum en litres par minute	Débit maximum en litres par minute
50	6,50	8,90
100	6,75	9,30
150	7,25	10,00
200	7,75	10,80

Les buses fonctionnent avec un gaz qui est caractérisé par une densité spécifique. Le constructeur précise toujours les gaz qui doivent être utilisés à l'exclusion de tout autre (Nitrox dans le cas des Dräger et oxygène pur en option). Attention donc aux bricoleurs qui pensent déjà pouvoir remplacer le Nitrox par d'autres gaz...

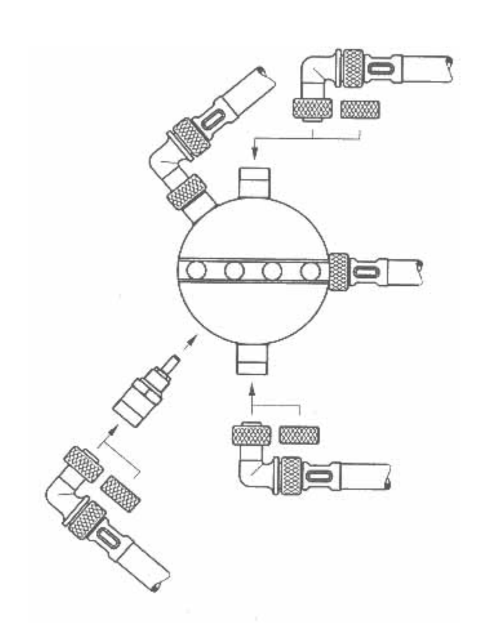
<u>Les détails techniques :</u>



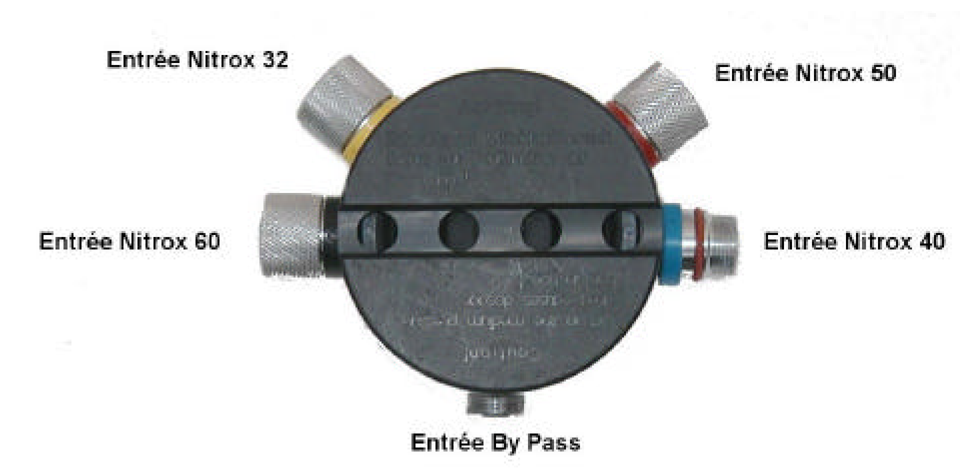


Boîtier porte injecteurs Dräger montés sur le sac inspiratoire

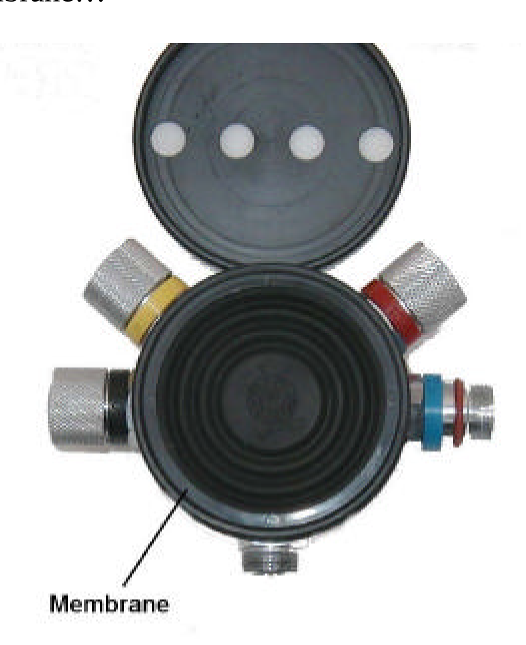




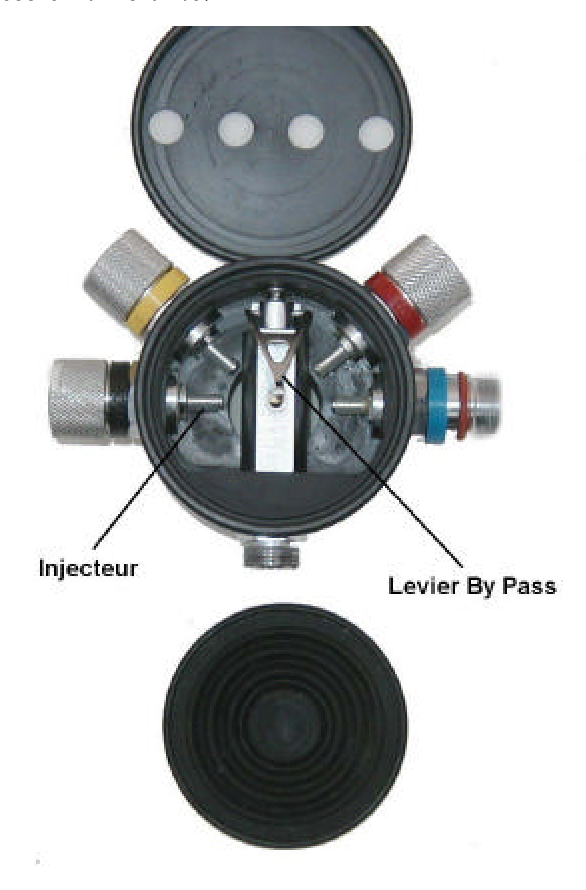
En y regardant de plus près, on distingue les buses d'injection repérées par un code de couleur



En soulevant le couvercle, on trouve une membrane…



…qui laisse apparaître un mécanisme similaire à celui d'un deuxième étage de détendeur : c'est le levier de by-pass qui permet d'injecter directement du gaz dans les faux poumons à chaque augmentation de la pression ambiante.



Photographies : M. Makar

Puisque le gaz qui alimente le système est connu (Nitrox), la fraction d'oxygène inspirée par le plongeur ne peut varier qu'en fonction d'un seul paramètre : la consommation d'oxygène par le métabolisme du plongeur. Rappelons que cette valeur varie uniquement en fonction des efforts réalisés.
Les données ci-dessous sont issues de tests menés en laboratoire à l'aide d'une bicyclette ergométrique :

<u>Consommation d'oxygène d'un individu:</u>

- **0,25 L/min.** au repos (60 pulsations cardiaques)
- **1,2 L/min.** lors d'un effort modéré (120 pulsations cardiaques)
- **2,5 L/min**. lors d'un effort intense (164 pulsations cardiaques)

(source : « Decompression Sickness» A. Bühlmann)
Les données communiquées par l'US Navy (Annexe 1) confirment ces valeurs.

La fraction d'oxygène dans la boucle est donc proportionnelle à l'effort. Plus le plongeur consomme de l'oxygène, plus la fraction d'oxygène dans la boucle respiratoire est faible.

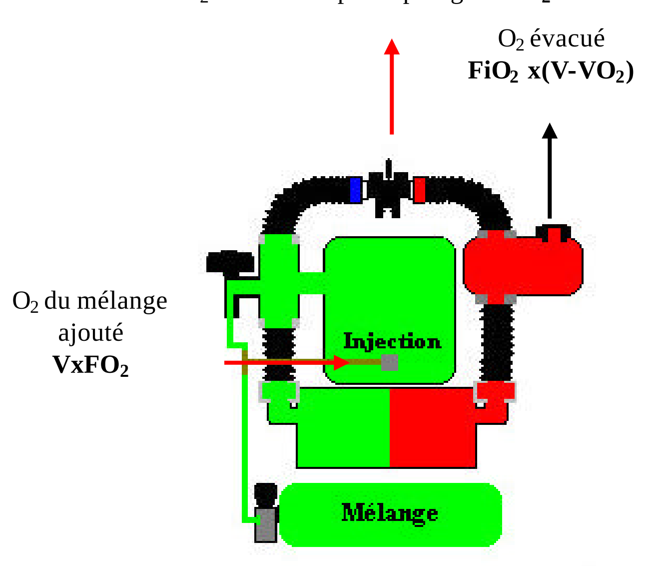
Il nous faut connaître la véritable valeur de la fraction d'oxygène dans la boucle. Cela nous permet de calculer la fraction du gaz inerte respiré et donc de déterminer notre procédure décompression.

<u>Calcul de la fraction inspirée d'oxygène (FiO_2) :</u>

Sans nous transformer en mathématicien, les équations qui suivent sont couramment partagées par la communauté « tek » et reposent sur le postulat que, à un instant donné, il y a équilibre entre la quantité de gaz qui entre dans le recycleur et la quantité qui en ressort. Les formules qui suivent n'ont d'autre intérêt que de mettre en lumière les résultats obtenus.
Avant de les exposer, il est nécessaire de définir quelques paramètres :

FO_2 : la fraction du mélange fourni
VO_2 : la consommation d'oxygène en L/min plongeur
V : le débit constant de la buse en L/min.

Pour un Dräger Dolphin qui utilise un Nitrox 32, le débit prédéfini est de 15,5 L/min.



home.worldcom.ch/intruder/ARHsuisse-fichestechniques-photos.htm

Puisque à un instant donné, on considère qu'il y a équilibre entre ce qui rentre et ce qui sort du recycleur :

Ce qui rentre = ce qui sort :

$$V \times FO_2 = FiO_2 \times (V - VO_2) + VO_2$$

$$\Rightarrow FiO_2 = \frac{(V \times FO_2) - VO_2}{V - VO_2}$$

<u>Exemple 1 :</u>
Mr MOYEN utilise un recycleur de type Dolphin avec un Nitrox 32. Il est en forme, n'a pas prévu d'efforts importants et sa consommation d'O_2 estimée est de 1,5 L/min.
La formule nous donne :

$$FiO_2 = \frac{(15{,}5 \times 0{,}32) - 1{,}5}{15{,}5 - 1{,}5} = 0{,}25$$

Soit 25 % d'O_2 qui sont à comparer aux 32% contenu dans la bouteille !

Ce calcul met en évidence une perte importante en pourcentage d'O_2. Elle est générée par la conception même de ce type d'appareil.
Connaissant le pourcentage d'oxygène respiré, il est facile d'en déduire celui des gaz inertes afin de planifier correctement sa décompression.

Exemple 2 :
Si les conditions du milieu viennent à se dégrader (un courant par exemple) et que Mr MOYEN ait à réaliser des efforts, que devient la nouvelle fraction d'oxygène ?

En se basant sur une consommation de 3 L/min on obtient avec la formule :

$$FiO_2 = \frac{(15{,}5 \times 0{,}32) - 3}{15{,}5 - 3} = 0{,}16$$

Soit 16% d'O_2 qui sont toujours à comparer aux 32% de la bouteille !

Exemple 3 :
Mr ETOURDI remplit par erreur sa bouteille de Nitrox avec de l'air. Il ne la contrôle pas non plus, seconde erreur !

On obtient :

$$FiO_2 = \frac{(15{,}5 \times 0{,}21) - 1{,}5}{15{,}5 - 1{,}5} = 0{,}13$$

C'est théoriquement l'hypoxie !

Dans la pratique, on utilisera les tableaux de conversion fournis par les constructeurs :

Gemisch	O_2-Verbrauch des Tauchers	O_2-Gehalt im Einatemgas
Gas- Mix	Oxygen consumption of the diver(L/min)	Oxygen contents in breathing gas(Vol%)
60% O_2/ 40% N_2	0,3	57,4
	1,0	49,9
	1,5	42,6
	2,5	19,2
50% O_2/ 50% N_2	0,3	47,6
	1,0	41,0
	1,5	35,1
	2,5	19,1
40% O_2/ 60% N_2	0,3	38
	1,0	32,9
	1,5	28,8
	2,5	18,6
32% O_2/ 68% N_2	0,3	30,5
	1,0	26,8
	1,5	23,9
	2,5	17,4

Dolphin Dräger

Remarques pour tous les appareils à débit massique constant :

1. Le calcul confirme que la FiO_2 varie grandement en fonction des efforts avec cette technologie. Dans un souci de sécurité, la préconisation des constructeurs quant à la consommation d'oxygène est souvent basée sur la valeur maximale de 3 litres par minute.
2. La profondeur maximale d'évolution, donnée par **le seuil hyperoxique**, est basée de manière conservatrice sur le mélange ayant la plus forte teneur en oxygène. C'est celui de la bouteille.
3. Par contre, **le calcul de la décompression** prendra en compte le mélange respiré ayant la plus forte teneur en gaz inerte (ou la plus faible teneur en oxygène) : donc celui de la boucle respiratoire.

Ci dessous, une illustration par des modèles du marché qui fonctionnent selon la technique du débit massique constant :
Dräger, fabricant de recycleurs depuis 1912 (avec le DM 40), a révolutionné le marché en proposant pour la première fois des versions grand public de matériels semi fermés : l'Atlantis en 1995, puis le Dolphin et le Black Dolphin et le Ray en 1999.

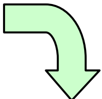
Le Dolphin est livré avec des buses permettant l'utilisation d'un Nitrox 60, Nitrox 40, Nitrox 50 et en options le Nitrox 32 et 100% d'oxygène.

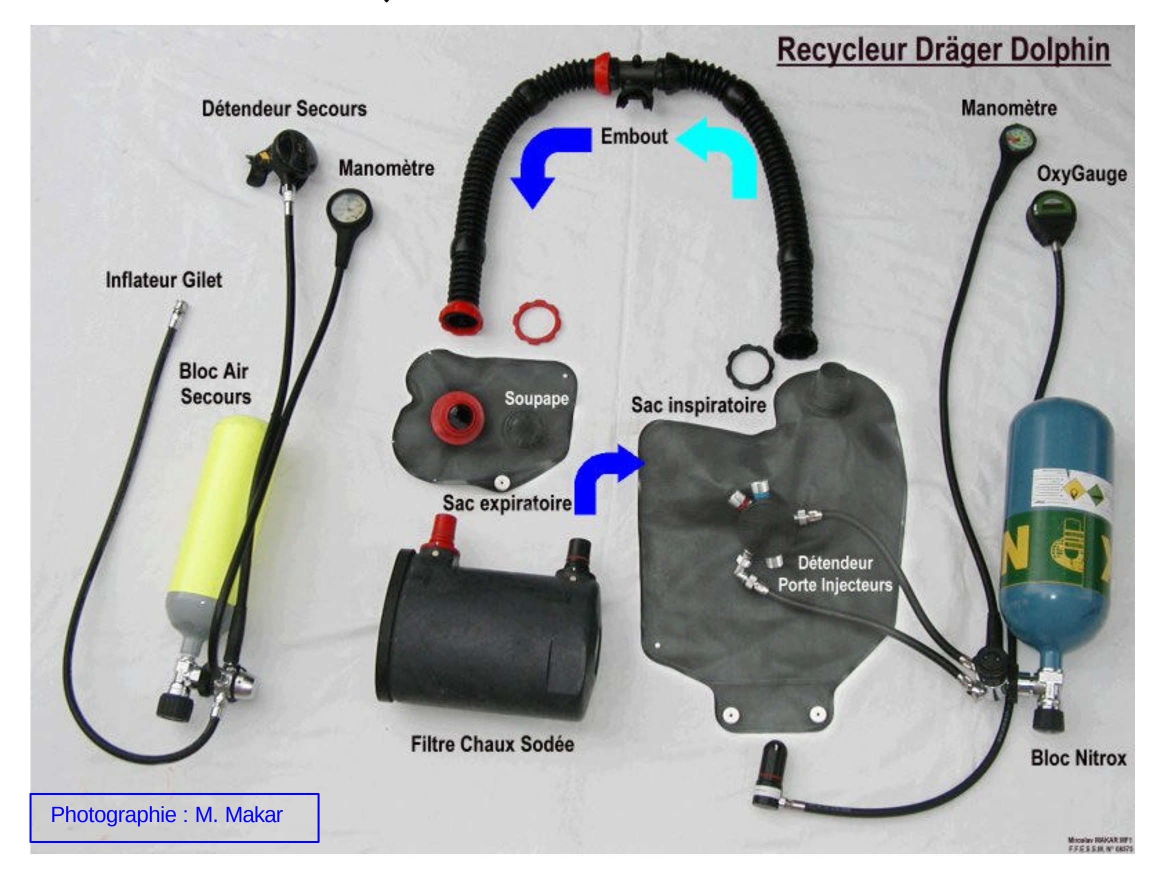


www.draeger.com



Dolphin et Black Dolphin



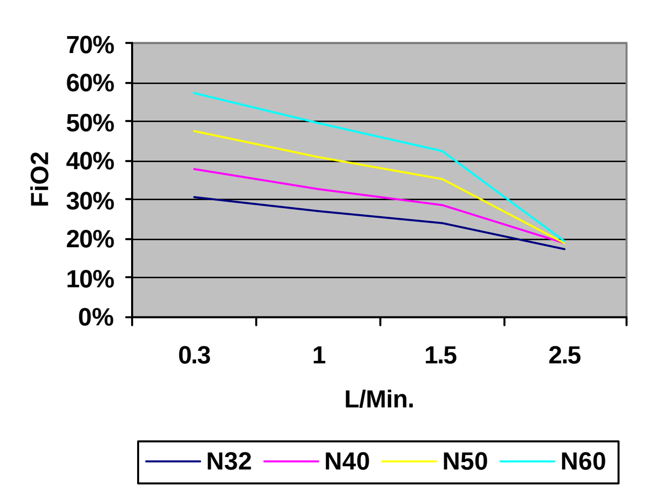


Photographie : M. Makar

Données Dräger quant au débit à vérifier en fonction des gaz utilisés

Mélange utilisé	Débit en L/min (min.)	Débit en L/min (max.)
60 %	5,1	6,4
50 %	6,55	7,95
40 %	9,4	11,3
32 %	14,2	16,9

variation de la fraction d'oxygène respiré en fonction des efforts

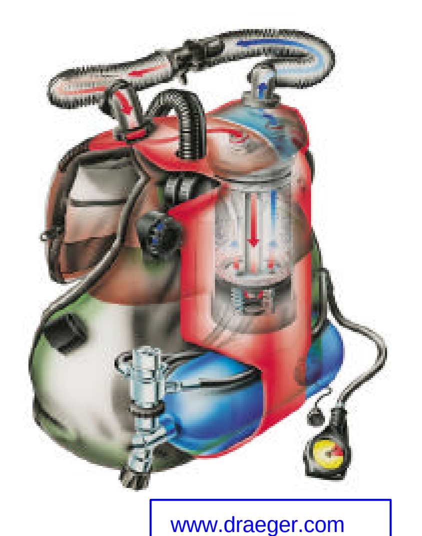


Même en effort intense et à condition que les buses adéquates soient montées, l'hypoxie est évitée.
Le Ray se veut être une version « simplifiée » du Dolphin.



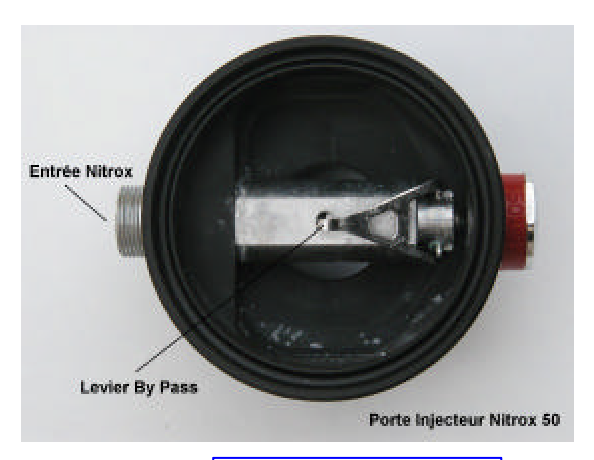
Ray

www.draeger.com

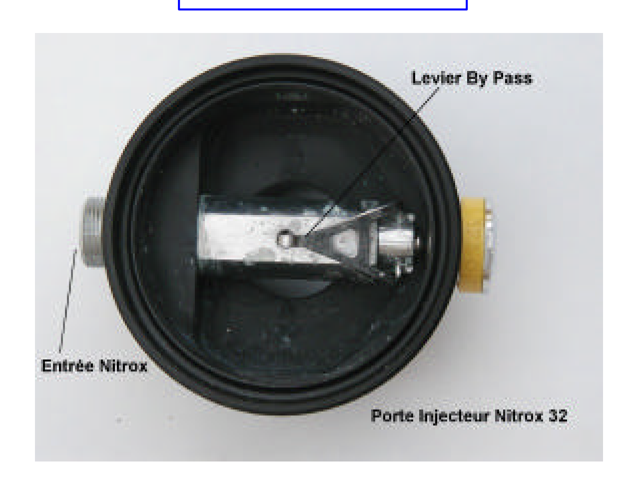


www.draeger.com

Sur ce modèle, un détendeur de secours est connecté directement au détendeur du recycleur alors que le Dolphin propose une bouteille de secours complémentaire. On peut utiliser un Nitrox 50, 40 ou 32 mais, à la différence du Dolphin, il faut changer l'ensemble du dispositif d'injection, ce qui a une incidence sur son prix.



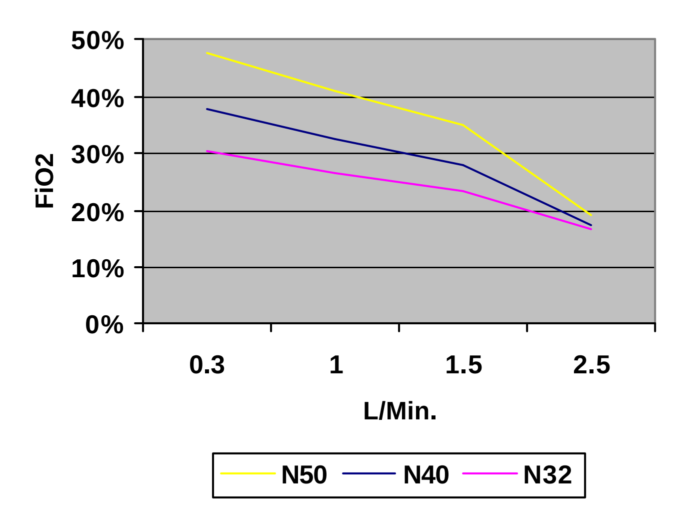
Photographies : M. Makar



Avec un mélange Nitrox 50, l'injecteur du Ray est calibré à 8,25 L/min et permet de plonger jusqu'à 22m pendant environ 90' (en fait la capacité de la cartouche de chaux limite la plongée à environ 70').
Le tableau ci-dessous, fourni par Dräger, indique pour le Ray la variation de la teneur en oxygène en fonction des efforts.

Mélange utilisé	Consommation en O_2 du plongeur en l/min	Teneur en oxygène dans le gaz respiré
Nitrox 50	0,3	47,6
	1	41
	1,5	35,1
	2 ,5	19,1
Nitrox 40	0,3	37,9
	1	32,6
	1,5	28,1
	2,5	17,3
Nitrox 32	0,3	30,5
	1	26,6
	1,5	23,5
	2,5	16,5

variation de la fraction d'oxygène respiré en fonction des efforts



La commercialisation de ces matériels est aujourd'hui assurée par le réseau commercial de la société Aqualung.

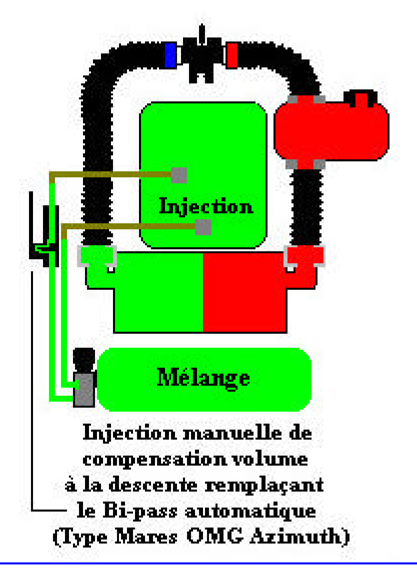
Un autre produit du marché est à signaler car <u>il met en oeuvre de manière différente l'injection par débit massique constant :</u>
OMG, fabricant Italien, a mis au point un recycleur semi fermé qui comporte quelques différences par rapport aux modèles précédents : la technique consiste à utiliser une seule buse d'injection réglable par l'utilisateur. OMG emploie un premier étage traditionnel avec la possibilité de faire varier soi même la moyenne pression. Avant chaque plongée, le plongeur effectue le réglage du débit (avec le débitmètre fourni) en fonction du mélange utilisé.



home.worldcom.ch/intruder/ARHsuisseLesSCRdebitsmassiques.htm

Par ailleurs, ce recycleur est muni de 2 bouteilles, laissant donc la possibilité d'utiliser une bouteille comme secours ou d'utiliser 2 mélanges différents en plongée. Les détendeurs sont des classiques du marché, ce qui est très pratique pour se procurer rapidement des pièces de rechange.
Au contraire des Dräger, il n'est pas équipé d'une injection automatique de gaz dans les faux poumons à la descente. Il faut donc en ajouter régulièrement à l'aide d'un dispositif manuel. Ce qui pourrait être perçu comme un inconvénient permet en fait de « ressentir » avec précision son matériel et de faire corps avec le recycleur.

La distribution de ce matériel est assurée par la société italienne San O Sub.



home.worldcom.ch/intruder/ARHsuisse-fichestechniques-photos.htm

Cette injection réglable permet également de bénéficier de diamètres internes plus importants et d'éviter ainsi les problèmes spécifiques aux buses d'injection.



www.nobubblediving.com

boîtier porte injecteur

Ces matériels ne proposent pas en standard de moyen permettant de surveiller sa ppO_2. Il est donc obligatoire à la fois pour des raisons de sécurité et de législation (arrêté d'août 2000) d'équiper le recycleur d'un dispositif complémentaire comme l'oxyjauge. Elle permet de connaître à tout instant la valeur de ppO_2 du gaz respiré.
Dräger fournit en option pour ses matériels un « oxykit » incluant le faux poumon inspiratoire, le système de connexion et l'oxyjauge.



Oxyjauge

Les systèmes passifs (dits également proportionnels) ou l'injection «à la demande » ou « passive flow scr »:

Les principaux défauts des recycleurs à débit massique constant sont le manque d'autonomie (comparés aux autres recycleurs) et le fait qu'ils génèrent un écart important entre la ppO_2 présente dans la boucle respiratoire (FiO_2) et celle du Nitrox embarqué (FsO_2). Cet écart est généré par la consommation d'oxygène du plongeur, elle même proportionnelle aux efforts réalisés. Pour remédier à ces inconvénients, une technique consiste à injecter et évacuer le mélange de la boucle à un rythme calqué sur celui de la respiration. Celle ci étant en phase avec les efforts réalisés. On élimine donc au rythme de la ventilation le dioxyde de carbone produit par le métabolisme.

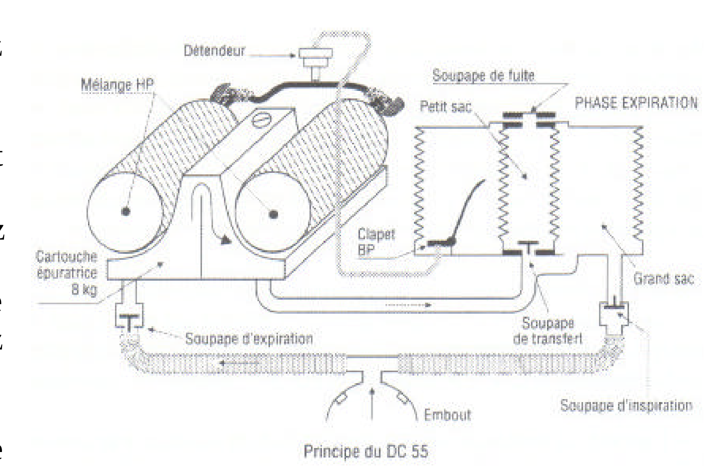
Plus on fait d'efforts, plus on ventile et plus on élimine.

On dénomme ces systèmes passifs car l'ajout de gaz n'est pas automatique. Il est déclenché de manière mécanique par la ventilation. Ces recycleurs fournissent en quelque sorte du gaz frais **à la demande**. Ce type de matériel offre un avantage important comparé au recycleur semi fermé de type actif : il est moins sujet à générer une hypoxie. La moindre défaillance du système demandera au plongeur des inspirations rapprochées qui seront rapidement détectées. Un peu à la manière d'un plongeur en circuit ouvert qui tombe en

panne d'air, il s'en rend compte assez rapidement.
Avec ce type d'appareil, une quantité de gaz proportionnelle au volume respiratoire est injectée dans la boucle à chaque ventilation : on ne renouvelle qu'une quantité du gaz présent dans la boucle. Un avantage de cette conception apparaît immédiatement : celui de l'autonomie. De plus, la quantité de gaz renouvelée reste constante quelle que soit la profondeur. Sa valeur correspond au rapport entre le volume renouvelé divisé par le volume total des faux poumons. La valeur de ce rapport est décidée par les constructeurs. Il est appelé le taux de renouvellement (le « **constant volume ratio** » chez les anglo-saxons). Plus le taux de renouvellement est élevé, plus la ppO_2 dans la boucle est stable.
Ces mêmes constructeurs doivent faire un choix, lorsqu'ils établissent ce ratio, entre la stabilité de la ppO_2 dans la boucle et l'autonomie souhaitée.

<u>Exemple :</u> avec un taux de renouvellement de 25 %, lorsque le plongeur respire en surface avec un débit de 20 L/min, le système injecte **5 L/min** de gaz frais et élimine 5 L/min de gaz vicié.
A une profondeur de 30 m (4 bars), le système injecte la même proportion (¼) soit **20 L/min** (puisque le plongeur respire maintenant 4 x 20 L/min, soit 80 L/min).
Or, en conservant le même ratio, la quantité de molécules d'oxygène fournie en profondeur au plongeur est inévitablement beaucoup plus importante. Ce type de recycleur perd donc un peu de sa performance (autonomie) en profondeur.

Nous retrouvons cette technique dans le recycleur militaire D.C.55, lui même issu du prototype D.C.52 du nom de son inventeur le pharmacien chimiste du GERS DUFAU CASANABE.



Principe du DC 55

C'est la technique actuellement utilisée par les recycleurs Halcyon RB 80. Le nombre 80 est en référence à la taille compacte de l'appareil (80 cubic feet correspondent environ à un bloc de 10 litres).
Le fonctionnement est basé sur l'astucieuse interaction entre deux faux poumons concentriques présentés sous forme de deux soufflets : un interne et un externe. Le principe est complètement mécanique.



Faux poumons RB80 Halcyon



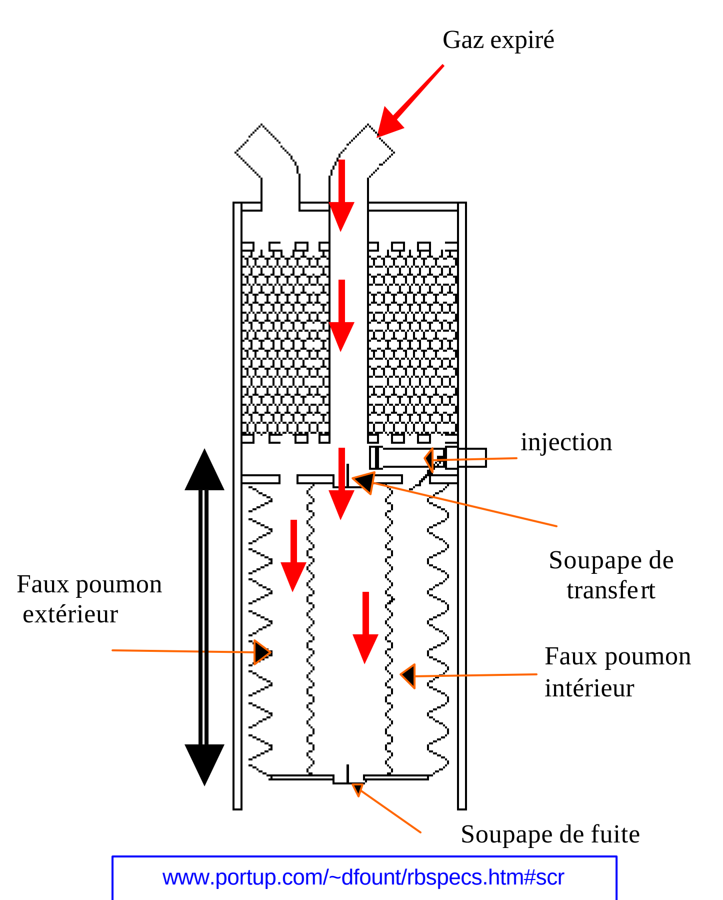
Halcyon RB 80

www.halcyon.net



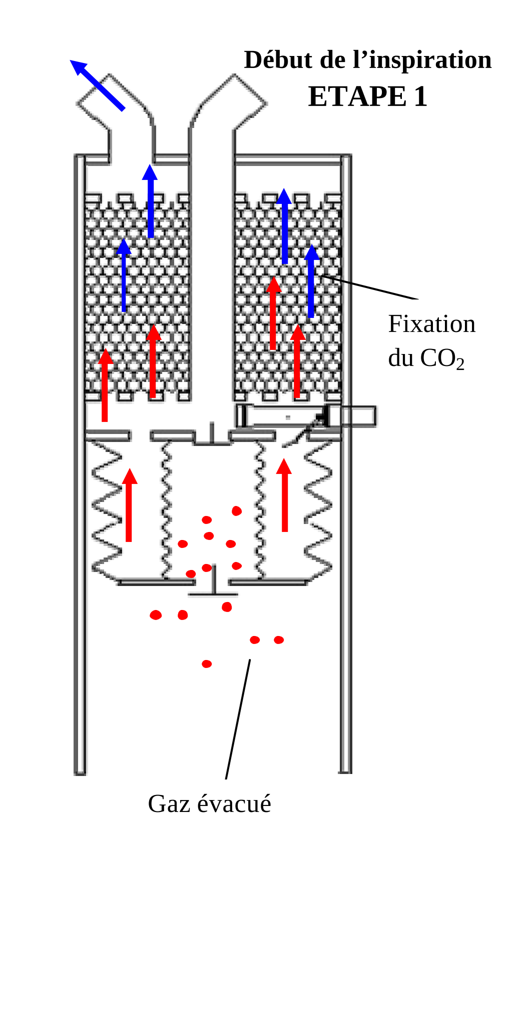
A l'expiration :

Lorsque le plongeur expire, le gaz remplit le faux poumon extérieur et le faux poumon intérieur (via la soupape de transfert). L'ensemble augmente donc de volume mais aucun gaz n'est évacué.
Rappelons que, comme souvent avec les recycleurs, la technique du poumon ballast, chère aux plongeurs en circuit ouvert, est purement et simplement supprimée.

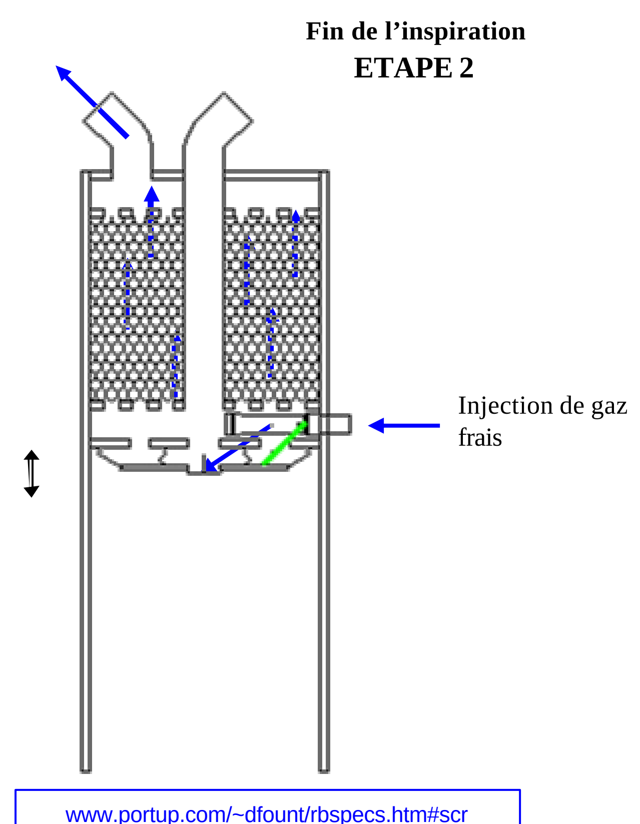


A l'inspiration :

Le contenu du faux poumon extérieur est acheminé par le filtre épurateur et les tuyaux annelés jusqu'aux poumons du plongeur. Le faux poumon extérieur diminue donc de volume, et entraîne avec lui le faux poumon intérieur (ETAPE 1).
La soupape de transfert du faux poumon intérieur est fermée. Avec la diminution de volume du faux poumon intérieur, la pression interne augmente et le gaz contenu dans le faux poumon intérieur est évacué par la soupape de fuite (on remarque que le gaz évacué n'a pas été filtré, économisant ainsi l'absorbant de CO_2). Lorsqu'il atteint son volume minimum (ETAPE 2), le faux poumon intérieur actionne un levier qui déclenche l'ajout de gaz frais dans le faux poumon. La diminution du volume de gaz contenu dans la boucle provoque l'admission de mélange frais et par conséquence, l'admission d'une certaine quantité d'oxygène.



Le volume de mélange admis est proportionnel à la pression ambiante. Autrement dit, plus la profondeur est importante, plus grande sera la masse d'oxygène délivrée au plongeur lors de chaque cycle respiratoire. En résumé, la variation de la fraction d'oxygène dans la boucle est proportionnelle à la profondeur.



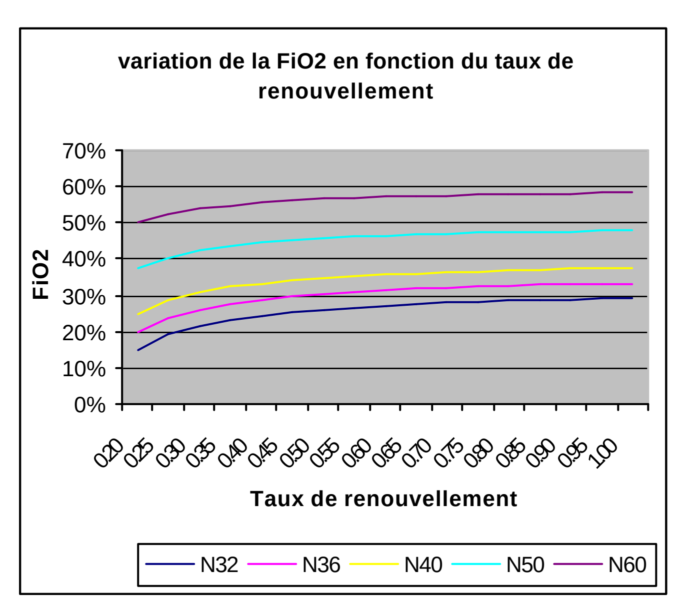
L'ajout de gaz finit avec la phase inspiratoire, ainsi l'Halcyon n'a remplacé que le volume de gaz évacué, maintenant la ppO_2 dans la boucle à une valeur stable. Le système, calqué sur le cycle respiratoire, est donc directement impacté par le rythme et l'amplitude de la respiration du plongeur. L'autonomie est, selon Halcyon, améliorée dans un rapport de 1 à 8 en comparaison avec un circuit ouvert. A l'opposé d'une injection en continu, l'injection à la demande réduit de manière significative l'écart en FiO_2 et FsO_2. Avec ces recycleurs, une fraction du volume du gaz respiré est rejetée dans l'eau lors de chaque cycle respiratoire.

La formule permettant de définir la ppO_2 fait intervenir de nouveaux paramètres.

Retenons simplement qu'il y a plusieurs variables qui rentrent en jeu et qui affectent la FiO_2 :

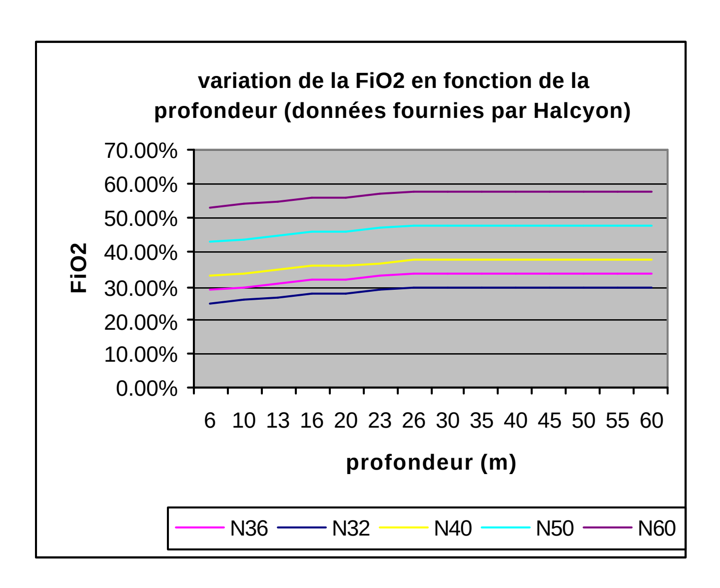
1. le gaz fourni : FsO_2
2. le taux de renouvellement ou volume ratio r (valeurs indicatives : 0,7 = important ; 0,2 = faible)
3. la condition physique K (valeur comprise entre 15 et 30 ; 15 = bonne forme ; 30 = méforme).

$$FiO_2 = \frac{(FsO_2Kr) - 1}{Kr - 1}$$



Ainsi, pour un même plongeur et pour un mélange donné, le graphique ci-dessus montre que plus le taux de renouvellement est élevé, plus l'écart entre la fraction d'oxygène respiré (FiO2) et celle du mélange embarqué (FsO_2) est faible.

La profondeur a également un impact sur le fonctionnement de ces appareils. Le graphique, page suivante, montre que la variation d'oxygène est la plus forte à faible profondeur.



Incidences sur la décompression avec les recycleurs semi fermés :

Il est impératif de connaître le mode de fonctionnement de l'appareil utilisé, d'où l'importance de suivre une formation spécifique à son recycleur. Dans tous les cas, avec les recycleurs semi fermés, il ne faut pas baser sa procédure de décompression sur le mélange embarqué mais sur le pourcentage de gaz inerte du mélange respiré. Dans la pratique, il sera déduit des tables de conversion fournies par les constructeurs.
Dräger conseille de prendre en compte une consommation de 2,5 litres par minute d'oxygène. Ce chiffre est souvent arrondi à 3 litres par minute par la plupart des agences « TEK » internationales.
Cette donnée en poche (FiO_2), il ne vous reste plus qu'à utiliser les moyens de décompression les plus appropriés : tables, ordinateurs ou logiciels de décompression (voir précédent chapitre sur ce thème).
Concernant l'exposition à l'oxygène et les risques associés, c'est la FsO_2 qui sera choisie. Comme elle est toujours supérieure à la FiO_2, cette recommandation se veut donc conservatrice.

SYNTHESE RECYCLEURS SEMI FERMES

SEMI FERME ACTIF	SEMI FERME PASSIF
Injection « en continu » réalisée avec un débit constant d'un mélange préfabriqué	Injection « à la demande » calquée sur la respiration du plongeur
	Constant Volume Ratio
Instabilité et variation importante de la fraction d'oxygène inspirée en fonction des efforts	Meilleure stabilité de la fraction d'oxygène inspirée
Entretien spécifique lié aux buses d'injection	Entretien spécifique lié au bon fonctionnement des soupapes de transfert et de fuite
Autonomie basée sur le débit d'injection	Amélioration de l'autonomie. Elle est basée sur le volume respiratoire par minute du plongeur (« Respiratory Minute Volume »)
Evacuation périodique de gaz pendant la plongée	
Ne recycle qu'un gaz à la fois et nécessite donc l'emploi d'autant de bouteilles que de gaz utilisé. Exemple : un Trimix pour le mélange fond puis des Nitrox pour la décompression.	
Décompression basée sur le pourcentage de gaz inerte du mélange respiré. Ce pourcentage est dépendant des efforts et il est soit calculé, soit fourni directement par les abaques des constructeurs.	

DEUXIEME PARTIE :

L'utilisation d'un recycleur : il faut tout réapprendre…

La plongée en recycleur procure des plaisirs uniques. L'impression que l'on a de se fondre complètement dans le milieu aquatique y est sûrement pour beaucoup. Tenter d'expliquer une sensation est une tâche délicate. Nous pourrions évoquer, par analogie, le ski et le surf. Ce sont deux techniques qui utilisent le même élément. Elles procurent cependant à leur utilisateur des sensations très différentes. Actuellement, il faut reconnaître que l'on ne vient pas à ce mode de plongée par hasard. Il s'agit la plupart du temps d'une démarche réfléchie, en rapport avec les investissements techniques et financiers demandés. D'une manière générale, ce sont les plongeurs expérimentés à la recherche de nouvelles sensations ou d'un nouveau « rayon d'action » qui franchissent le pas. Et pourtant, l'expérience acquise en circuit ouvert n'est pas ou très peu applicable au recycleur : tout est à réapprendre ! Nous pourrions même imaginer que débuter la plongée avec un recycleur est une situation moins perturbante pour le débutant qu'avec un circuit ouvert : pas de poumon ballast à gérer, respiration d'un gaz sécuritaire,…
Le parcours qui mène à un investissement est souvent le même : choisir, essayer, acheter, se former, pratiquer.

1. Choisir son recycleur : avant tout une question de besoin

En circuit ouvert, le matériel est aujourd'hui banalisé et comble largement les attentes des plongeurs dans les limites de la plongée sportive à l'air. Cette population de plongeurs constitue le plus grand nombre d'entre nous. Tant et si bien que lorsque l'on parle d'investissements en matière de scaphandre autonome, les choix se résument souvent à un bloc de 12 ou 15 litres, un détendeur compensé ou non… Il en est autrement avec les recycleurs. Aucun recycleur ne fonctionne à l'air. Ils utilisent des gaz qui sont soit des Nitrox, soit des Trimix, soit des Héliox,… soit les trois ! Les explorations seront donc limitées au gaz utilisés par tel ou tel recycleur. Donc, et sous peine de décevoir rapidement son acquéreur, l'utilisation d'un recycleur doit répondre à un besoin clairement exprimé.
L'autonomie procurée par ces appareils est souvent un argument de poids. Le plongeur qui est satisfait des possibilités d'exploration offertes par le traditionnel 15 litres ne sera que peu intéressé par ce critère. De la même manière, le plongeur insensible aux arguments sécuritaires de la plongée aux mélanges (Nitrox ou Trimix) se montrera méfiant vis à vis de cette machine qui semble complexe et qui demande de surcroît une rigueur d'utilisation importante.
A l'inverse, les photographes ou cinéastes à la recherche de discrétion seront attirés par ces matériels qui leur proposent de nouvelles possibilités en terme d'approche des « sujets ». Les plongeurs techniques profonds et les plongeurs spéléo à la recherche d'autonomie utilisent depuis longtemps ces matériels et ils constituent souvent les principaux acquéreurs
Beaucoup évoquent le recycleur comme étant le produit d'avenir de la plongée sportive. C'est peut être vrai, mais nous n'en sommes pas encore là. Le recycleur devra encore évoluer en simplicité, et surtout en coût avant de remplacer notre bouteille et notre détendeur !
Aujourd'hui, il se positionne de manière confidentielle en parallèle du marché traditionnel et s'adresse par conséquence à un nombre plus limité de personne.
Revenons donc sur les principaux types de recycleurs et les utilisations qu'ils permettent.

Le circuit fermé à oxygène pur :
Ses possibilités d'évolution sont limitées à l'espace proche par la nature du gaz respiré. Il est donc plus particulièrement destiné au domaine professionnel (photo/vidéo) ou militaire dont la discrétion, la simplicité et la fiabilité sont les paramètres déterminants.

Le circuit fermé au mélange :
Les possibilités offertes par ce type de matériel semblent avoir peu de limites : multi gaz, optimisation de la décompression, discrétion, autonomie record, pas de limite théorique de profondeur... L'impression de facilité qui se dégage de leur utilisation doit inciter leur propriétaire à la plus grande prudence. C'est le matériel de prédilection des plongeurs « mer » qui sont attirés par des explorations profondes sans pour autant envisager de s'immerger avec une configuration matérielle trop conséquente (2 x 18 l, 2 x 20 l). Par contre, cette apparente et trompeuse simplicité n'épargne pas l'utilisateur d'une réflexion approfondie quant à la mise en place d'une procédure de secours adaptée à l'exploration planifiée. Ce matériel représente un avenir certain pour la plongée dite technique.

Le circuit semi fermé :
Il répondra aux attentes des personnes qui souhaitent bénéficier des avantages de la plongée avec un recycleur dont la conception sans électronique peut permettre de penser à une plus grande fiabilité. Le budget est également moins élevé. Par contre, l'autonomie est plus limitée que le modèle précédent et la plongée reste ponctuée par la présence périodique de bulles.

Et la plongée souterraine ? A ce jour aucun recycleur du commerce ne propose la redondance chère aux plongeurs spéléo. On assiste donc à des fabrications personnelles qui laissent souvent admiratif devant l'ingéniosité et le travail accompli pour répondre au cahier des charges fixé par leur propre utilisateur (exemples : RI 2000, Joker V,…).

2. Où acheter un recycleur ?

Une fois le matériel de vos rêves identifié, il ne reste «plus» qu'à passer à l'inévitable acte d'achat tout en planifiant une formation adaptée. La démarche d'achat est d'autant plus difficile qu'un seul constructeur bénéficie à ce jour d'un réseau de distribution en France. Pour tous les autres, il faut soit s'adresser à un magasin spécialisé, donc un intermédiaire, soit directement aux fabricants (Internet et l'anglais constituent souvent des pré requis).

Circuit fermé oxygène pur type OMG
Commercialisation : pas de représentation en France. Il faut s'adresser directement à OMG en Italie.
Budget hors formation : environ 3000 euros.

Circuit fermé au mélange : un seul modèle « grand public » est commercialisé à ce jour. Il dispose d'une norme « CE » 50 m pour une utilisation air et 100 m pour l'Héliox :

- **L'Inspiration**

Commercialisation : Ambient pressure diving (www.ambientpressurediving.com).
La condition sine qua non pour acquérir ce matériel est de suivre une formation spécifique à ce recycleur et validée par le constructeur. Elle est généralement d'une durée de 4 à 6 jours. La plupart des agences internationales ont pressenti le succès de cet appareil et proposent une formation. Le constructeur anglais indique sur son site, la liste des instructeurs qui font également office de revendeurs. Ils peuvent vous proposer un ensemble : matériel et formation.
Budget (hors formation) : 4000 Livres Sterling soit un peu moins de 6 000 Euros

Semi fermés :

- **Dolphin ou Ray**

Commercialisation : réseau de distribution Aqualung.
Pour acquérir un modèle, il suffit à ce jour de présenter une qualification recycleur semi fermé issue de n'importe quel organisme de formation.

Budget (hors formation): environ 4 900 Euros avec oxyjauge et plusieurs injecteurs pour le Dolphin et environ 2400 Euros pour le Ray.

- **Halcyon**

Commercialisation : uniquement auprès des revendeurs Halcyon. La liste est tenue à jour sur le site : www.halcyon.net/dealers. Aucune représentation n'existe en France à ce jour.
Pré requis technique : suivre impérativement la formation G.U.E. (Global Underwater Explorers). L'autorité technique est représentée par Andrew Georgitsis. Il faut lui préciser votre niveau actuel de plongeur par mail (andrewg@gue.com) afin qu'il vous établisse le programme de formation spécifique et obligatoire pour acquérir un recycleur Halcyon.
Budget (hors formation) : 6 000 à 8 000 euros selon la configuration.

- **Azimuth**

Commercialisation : Il faut s'adresser directement à OMG en Italie.
Budget hors formation : environ 4 500 euros sans oxyjauge.

3. La formation disponible : nombreuse mais très similaire

3.1 Comparaison des différentes formations enseignées en France

Le tableau de synthèse qui figure page suivante recense les principales formations existantes. La plupart sont disponibles en France. Pour simplifier, seules les qualifications plongeurs sont indiquées. Les qualifications moniteurs sont souvent basées sur l'association de la qualification plongeur et du diplôme moniteur sous réserve que **le moniteur fasse preuve d'une réelle expérience avec le recycleur en question**. Cette expérience est quantifiée en heures d'immersion.
Les contenus détaillés de ces formation on été traduits de l'anglais pour la plupart et figurent en Annexe 4. L'objectif de cette traduction est de fournir des éléments et des bases de réflexions communes au groupe de travail « recycleur », récemment constitué par la C.T.N.

Synthèse des principales formations enseignées

Représentations en France

Représentations à l'étranger

Filière Plongeur

	SEMI FERME NITROX	SEMI FERME TRIMIX	FERME NITROX	FERME TRIMIX/HELIOX
ORGANISME	**Qualifications**	**Qualifications**	**Qualifications**	**Qualifications**
CMAS	Semi Closed Rebreather Diver Advanced Semi Closed Rebreather Diver		Closed Circuit Rebreather Diver	
SNMP	Plongeur recycleur Dolphin et Ray			
ANMP	Plongeur recycleur circuit semi fermé			
IANTD	Semi Closed Rebreather Diver		Closed Rebreather Diver	Normoxic Trimix Diver Rebreather Trimix Diver Rebreather
TDI	Semi Closed Rebreather Diver Atlantis/Dolphin/Ray/Azimuth			
PADI	Semi Closed Rebreather Diver Atlantis/Dolphin/Ray			
GUE	Semi Closed Rebreather level 1 Halcyon	Semi Closed Rebreather level 2 Halcyon		
NAUI	Semi Closed Rebreather Diver		Closed Rebreather Diver	
ANDI	Semi Closed Rebreather Diver Technical Rebreather Diver	Semi Closed Circuit Explorer	Closed Circuit Rebreather Diver Technical Rebreather Diver	Closed Circuit Explorer Technical Rebreather Diver

3.2 Réflexions sur une qualification recycleur F.F.E.S.S.M.

Dans ce contexte, quel peut être le rôle de notre fédération ?

L'utilisation de nouveaux matériels s'inscrit dans la démarche de promotion de l'activité sous marine. Il faut donc, en toute logique, favoriser l'utilisation des recycleurs en proposant à nos licenciés un apprentissage en phase avec notre démarche pédagogique et en cohérence avec l'ensemble des niveaux et qualifications existantes (notamment celles concernant les mélanges).

A quelles situations sommes-nous confrontés **dès aujourd'hui** en France ?

1ère situation : les plongeurs qui sont déjà titulaires d'une qualification recycleur issue d'une autre organisation

La plupart des fabricants ou des revendeurs ne commercialisent le matériel que si le plongeur dispose d'une qualification. Les plongeurs qui plongent actuellement en recycleur sont donc logiquement titulaires d'une qualification. Il ne s'agit pas d'une qualification FFESSM puisqu'elle est en cours d'élaboration. Cette qualification est donc issue de l'un des organismes que nous venons de citer précédemment.

Quelle attitude adopter ?

Il faut reconnaître que nous ne sommes pas précurseurs en terme de formation sur ce matériel. Il serait donc peu judicieux d'imposer aux personnes déjà qualifiées le passage d'une nouvelle qualification fédérale pour pouvoir pratiquer en France.

Nous devons donc reconnaître d'une manière ou d'une autre les qualifications existantes.

Pour y parvenir, il y a 2 possibilités :

⇨ **1ère possibilité : la reconnaissance directe des qualifications délivrées par d'autres organismes**

Cette reconnaissance nous semble être plus du ressort d'un organisme international tel que la CMAS.

Rappelons que la CMAS délivre 3 qualifications

- plongeur recycleur à circuit semi fermé
- plongeur recycleur confirmé à circuit semi fermé
- plongeur recycleur à circuit fermé

Ce modèle à 3 qualifications, spécifiques au type de matériel, est identique à celui des agences américaines.

⇨ **2ème possibilité : la mise en place d'une passerelle fédérale par une évaluation de la compétence en situation**

- évaluation théorique orale avec une éventuelle remise à niveau théorique (accidents, législation spécifique à l'utilisation des recycleurs, normes fédérales, …)
- évaluation pratique réalisée en situation lors d'une plongée (avant la plongée, plongée, après plongée) avec une éventuelle remise à niveau pratique

Une évaluation positive donnerait lieu à la délivrance de la qualification fédérale.

L'évaluation sera obligatoirement faite avec le type/modèle de matériel spécifié sur la qualification détenue par le plongeur (sous réserve que le centre soit en mesure de fournir le matériel en question).

2nde situation : les plongeurs qui ne sont pas titulaires d'une qualification

Nous devons alors proposer une qualification F.F.E.S.S.M. C'est la mission du groupe de travail recycleur récemment constitué par la Commission Technique Nationale.
Par contre, notre fédération n'a probablement pas vocation à proposer un catalogue de formation calqué sur celui des agences commerciales anglo-saxonnes.
Les points ci-dessous précisent quelques éléments importants qui sont à prendre en compte dans le cadre de la mise en place d'une qualification recycleur F.F.E.S.S.M.

Cette nouvelle qualification doit :

- favoriser la pratique
- être simple et sa mise en place devra être perçue par les personnes les plus concernées (professionnels et pratiquants) comme une aide en phase avec la pratique et non une contrainte.
- s'intégrer et logiquement dans le contexte législatif existant par :
  - la prise en compte des prérogatives actuelles des plongeurs en fonction des niveaux
  - la prise en compte des qualifications gaz et des zones d'évolution associées :
    - Oxygène pur : **6 m**
    - Nitrox : jusqu'à **40 m**
    - Air : jusqu'à **60 m**
    - Trimix : jusqu'à **80 m** en formation
jusqu'à **120 m** en exploration

Avantage : on s'inscrit dans un cadre sans le complexifier
Inconvénient : le préalable à la formation recycleur est alors l'obtention d'une qualification « gaz ». Le parcours peut alors sembler long et coûteux mais il est logique. La CTN peut pleinement jouer son rôle de coordination et d'animation des groupes de travail en suggérant la mise en place dans le cadre du cursus Trimix (actuellement en refonte) d'une ouverture dans le cas où des recycleurs seraient utilisés. Ceci permettrait de délivrer une qualification Trimix à un plongeur recycleur sans qu'il soit obligé de repasser par une étape circuit ouvert.

- Il peut être intéressant de réfléchir à la création d'une **qualification recycleur unique**. Cette dernière déterminera avec la qualification gaz associée (Nitrox, Nitrox Confirmé, Trimix) la zone d'évolution du plongeur

Exemples :

Qualifications Nitrox confirmé et Recycleur permettent de bénéficier des prérogatives des deux qualifications donc la pratique d'un :

- recycleur circuit fermé oxygène pur
- recycleur circuit fermé avec un diluant Air
- recycleur circuit semi fermé (le mélange embarqué est alors un Nitrox)

Qualifications Trimix et Recycleur permettent d'utiliser un :

- recycleur circuit fermé avec un diluant Trimix
- recycleur circuit semi fermé avec un mélange préfabriqué Trimix

Remarque :
Nous ne prenons pas en compte d'autres gaz comme l'Héliox (mélange Hélium/oxygène). Ils sont encore peu répandus en plongée sportive et constituent des exceptions.

La qualification recycleur dans le cursus fédéral :

Niveau minimum	Qualifications possibles	
	« gaz »	« matériel »
Niveau 1	Nitrox	
Niveau 2	Nitrox Confirmé	Recycleur (*)
Niveau 3	Trimix	
Niveau 4		
Niveau 5		

(*) nécessité de modifier l'arrêté mélange pour ouvrir l'accès des recycleurs aux niveaux 2

- une formation commune à l'ensemble des recycleurs se doit d'être constituée des points communs à l'ensemble des recycleurs.
  L'approche par la gestion des risques spécifiques à l'utilisation de ce matériel semble alors évidente. Elle est radicalement différente des approches anglo-saxonnes qui multiplient les formations en fonction des types et modèles de recycleurs utilisés.
- repréciser la notion de palanquée en fonction de la gestion des risques encourus par chacun des équipiers. Le tableau ci-dessous synthétise les risques et leur maîtrise par les plongeurs en recycleur ou en circuit ouvert. D'un point de vue de la gestion des risques, ce tableau indique que la mixité de la palanquée est préférable lorsque le plongeur en circuit ouvert dispose de la qualification gaz appropriée.

		Risque hypoxique	Risque hyperoxique	Risque hypercapnique	Panne de gaz	Inondation de la boucle
Palanquée équipée de recycleurs	**CCR/CCR SCR/SCR**	Supposé maîtrisé	Supposé maîtrisé	Supposé maîtrisé	Supposé maîtrisé	Supposé maîtrisé
	CCR/SCR	Supposé maîtrisé	Supposé maîtrisé	Supposé maîtrisé	Supposé maîtrisé	Supposé maîtrisé
Palanquée avec Equipement mixte	**CCR/OC avec qualification Nitrox ou Trimix**	Supposé maîtrisé	Supposé maîtrisé	Supposé maîtrisé	Supposé maîtrisé	**Nouveau pour OC**
	CCR/OC	**Nouveau pour OC**	**Nouveau pour OC**	Supposé maîtrisé	Supposé maîtrisé	**Nouveau pour OC**

Abréviations :

CCR	« Closed Circuit Rebreather »	Recycleur à circuit fermé
SCR	« Semi Closed Rebreather »	Recycleur à circuit semi fermé
OC	« Open Circuit »	Circuit ouvert

- Un mot sur l'association d'une qualification « plongeur recycleur » et d'un diplôme de moniteur. Contrairement aux qualifications gaz, il est difficilement concevable d'imaginer que cette association induit automatiquement la délivrance d'une qualification « moniteur recycleur ». Puisque en recycleur, il est nécessaire de reconstruire tous ses acquis, il est impératif de justifier d'une réelle expérience pratique avant d'être autorisé à enseigner.

3.3 Incidences de la mise en place d'une qualification fédérale

La mise en place de cette qualification ne peut se faire sans impact sur le cursus fédéral. L'objet de ce paragraphe n'est pas de répondre à toutes les questions qui se posent mais plutôt de pointer du doigt les incidences pour le plongeur, le directeur de plongée et le moniteur.

Une réflexion plus poussée pourrait être confiée au groupe de travail « recycleur ».

Pour le plongeur :

Supposons que l'accès à la qualification recycleur soit accordé à partir du Niveau 2. En comparaison avec les niveaux supérieurs, le niveau 2 est un «jeune » plongeur qui construit son expérience, notamment avec la notion d'autonomie.
Dès le début de sa formation recycleur, certaines compétences récemment acquises par le Niveau 2 vont être mises à mal :

Compétence N°1A : UTILISER SON MATERIEL

- L'entretien courant et l'hygiène sont des notions qui doivent être renforcées avec un recycleur.

Compétence N°2 : IMMERSIONS ET RETOUR EN SURFACE

- Maîtrise de la vitesse de remontée sans instrument :
  - avec un recycleur, il n'est plus possible d'utiliser le repère visuel matérialisé par les bulles.
  - La bonne gestion de la vitesse de remontée passe par la maîtrise d'une flottabilité globale : poumons, faux poumons, gilet de stabilisation et parfois vêtement étanche.

Compétence N°3 : MAITRISE DE LA VENTILATION EN PLONGEE

- Maîtrise de la ventilation : en recycleur, le travail respiratoire est supérieur d'où l'importance d'une prévention accrue concernant l'essoufflement. Les acquis en terme de comportement sur le bateau, avant la plongée et pendant la plongée sont à renforcer.
- Réaction au remplissage inopiné du masque : le vidage de masque entraîne une perte de gaz dans la boucle. Pour ne pas se retrouver en situation de panne d'air, cela implique d'acquérir un nouveau réflexe : remplacer rapidement cette perte de gaz.
- Maîtrise de l'équilibre et du poumon ballast : du fait de l'absence du poumon ballast, l'équilibre est certainement la situation la plus difficile à maîtriser. Pour éviter les stabilisations successives et donc les pertes de gaz induites, le comportement en recycleur consiste souvent, lors des évolutions, à privilégier le contournement des obstacles plutôt que de les survoler.

Compétence N°4 : REACTIONS AUX SITUATIONS USUELLES

- réaction à la panne d'air : attention au réflexe qui consiste à enlever son embout pour le passer immédiatement à son coéquipier. Tout échange d'embout en recycleur est illusoire et à proscrire. La sécurité passe par l'utilisation d'un circuit ouvert de secours (bailout).

Compétence N°5 : AUTONOMIE

- ⇨ la notion de la gestion du gaz en immersion est à revoir
- ⇨ les procédures établies en cas de perte du binôme sont à redéfinir (inutile de chercher les bulles !)

Compétence N°6 : CONNAISSANCES THEORIQUES

- ⇨ les notions théoriques de flottabilité et d'autonomie sont à reprendre

Pour le directeur de plongée :

Une première question se pose : le directeur de plongée d'une structure devra t-il être, comme pour les qualifications mélanges, titulaire de la qualification recycleur pour que les plongeurs puissent évoluer en recycleur ?
Cela ne semble pas obligatoire dans la mesure où il aura été averti pendant sa formation des spécificités de ce mode de plongée. Cela implique de modifier son cursus de formation.

Exemple :

- ⇨ la capacité «organiser et gérer les plongées» devra être mise à jour pour intégrer le cas particulier des recycleurs. De nouveaux critères pourraient être établis :
  - o savoir reconnaître les différents appareils du commerce (notion de norme ?)
  - o connaître l'existence de la qualification recycleur
  - o être conscient de l'incapacité à surveiller les palanquées depuis la surface (absence de bulle => utilisation du critère temps ?)
  - o être conscient des nouvelles possibilités d'autonomie et donner des consignes en ce sens

Pour le moniteur :

Pour que les plongeurs soient avertis des particularités de la plongée en recycleur, il semble évident d'aborder le sujet dans les programmes de formation moniteurs MF1 et MF2.

- ⇨ MF1 : dans le cadre du stage initial, il peut être judicieux de les aborder dès l'UC1 (cadre réglementaire, matériel lié à l'activité)
- ⇨ MF2 : inclure des notions sur les recycleurs dans le contenu de formation relatif au matériel de plongée.

3.4 <u>La réglementation en vigueur :</u>

Deux arrêtés légifèrent l'activité de la plongée de loisir en France :

- L'arrêté du 22 juin 1998 « relatif aux règles techniques et de sécurité dans les établissements organisant la pratique et l'enseignement des activités sportives et de loisir <u>en plongée autonome à l'air</u> »
- L'arrêté du 28 août 2000 « relatif aux règles techniques et de sécurité dans les établissements organisant la pratique et l'enseignement des activités sportives et de loisir <u>en plongée autonome aux mélanges autres que l'air</u> »

C'est dans ce dernier arrêté que l'on trouve directement énoncé la notion de recycleur :

Art. 12. - Lorsque la plongée est réalisée avec des appareils à recyclage de gaz, ceux-ci font l'objet d'une certification aux normes en vigueur.

Ils ont en commun un embout buccal, un sac respiratoire, une cartouche d'épuration de gaz carbonique dont le produit épurateur doit être stocké et utilisé selon les conditions précisées par le fournisseur, un ou deux détendeurs spécifiques ainsi qu'une ou plusieurs bouteilles d'oxygène ou de mélange respiratoire.

Outre les dispositions relatives au matériel, définies au titre II, l'appareil de recyclage est muni d'un dispositif permettant de renseigner le plongeur lorsque la pression partielle d'oxygène inspiré n'est pas comprise entre les valeurs minimale et maximale définies à l'article 4 ci-dessus.

Lors des plongées organisées au-delà de l'espace lointain, l'appareil à recyclage de gaz est en outre muni d'un détendeur en circuit ouvert et d'une bouteille de secours.

Art. 19. - Il est créé deux qualifications nitrox, " nitrox " et " nitrox confirmé " et une qualification " trimix "

La qualification " nitrox confirmé " ne peut être délivrée qu'à partir du niveau 2 de plongeur.

La qualification " trimix " ne peut être délivrée qu'à partir du niveau 3 de plongeur.

Les plongeurs majeurs de niveau égal ou supérieur au niveau 2 de plongeur, titulaires d'une qualification nitrox, ou nitrox confirmé, sont, sur autorisation du directeur de plongée, autorisés à plonger en autonomie dans l'espace médian.

En l'absence du directeur de plongée, les plongeurs titulaires d'un niveau 3 ou supérieur de plongeur ainsi que d'une qualification nitrox, ou nitrox confirmé, ou trimix peuvent plonger entre eux et choisir le lieu, l'organisation et les paramètres de leur plongée, dans les conditions prévues par les annexes II b et III.

Au-delà de l'espace proche, seuls les plongeurs titulaires d'un niveau 3 ou plus de pratique, de prérogative ou d'encadrement peuvent pratiquer la plongée au mélange nitrox ou trimix avec un appareil à recyclage de gaz.

<u>Remarques :</u>

- les appareils doivent faire l'objet d'une certification en vigueur ce qui exclut les fabrications maisons, les appareils modifiés par les utilisateurs et les matériels d'origine militaire.
- le niveau d'entrée est celui du niveau 3 et limite par conséquence l'accès au plus grand nombre. La qualification Nitrox confirmée pouvant être délivrée à partir du Niveau 2, nous pouvons imaginer une modification de cet arrêté en proposant un accès aux recycleurs à partir de ce niveau.
- La qualification recycleur n'est pas mentionnée et n'a donc pas d'existence juridique.

5. Les principaux risques : les « 3H » et les « 2I »

L'utilisation de ces matériels présente certains risques pour les plongeurs « Air » habitués aux circuits ouverts :

- **Hypercapnie ou le risque CO_2 :**

Les plongeurs en circuit ouvert apprennent depuis le niveau 1 à se prémunir de l'essoufflement. Par ailleurs, nous sommes dotés par nature de capteurs permettant d'identifier ce risque pour peu que l'on y prête attention. Ce qui est nouveau, c'est qu'il peut être induit par le matériel (exogène) alors qu'en circuit ouvert la cause est principalement liée à l'individu (endogène). La technologie actuelle ne permet pas, à ce jour, de mesurer dans les recycleurs le taux de CO_2 dans la boucle respiratoire.

- **Hyperoxie et Hypoxie : les risques liés à l'oxygène :**

On retrouve la mise en application des découvertes de Paul Bert et Lorrain Smith. Rappelons que notre organisme est prévu pour fonctionner en normoxie (ppO_2 = 0,21), en deçà de cette valeur, nous tendons vers l'hypoxie et au delà, vers l'hyperoxie.
Contrairement à l'hypercapnie, ces risques sont nouveaux pour les plongeurs « Air » et d'autant plus dangereux que dame nature ne nous a doté d'aucun capteur permettant de les détecter. En cas d'hypoxie, c'est la perte de connaissance assurée sans signe précurseur avec ses conséquences sous l'eau.
Concernant l'hyperoxie, ce n'est pas beaucoup mieux. La littérature existante décrit et détaille la crise hyperoxique mais étant donné le peu de certitude concernant les signes annonciateurs que nous pourrions identifier sous l'eau, la première règle à appliquer sera la prévention. De plus, chacun d'entre nous bénéficie de sa propre tolérance vis à vis de l'oxygène.
Ces risques sont communs à l'ensemble des recycleurs. Les prévenir consiste à en avoir conscience et à prévoir l'imprévisible par la mise en place d'une procédure de secours. Par exemple, et pour éviter la respiration d'eau en cas d'inconscience, les militaires utilisent depuis longtemps une sangle de maintien ainsi qu'un protège lèvres. Certains utilisateurs amateurs s'inspirent de cette pratique.
Rappelons que l'arrêté mélange de septembre 2000 prévoit dans l'article 12 la mise en place d'un appareil permettant de renseigner le plongeur lorsque la ppO_2 n'est pas comprise entre 0,17 bar et 1,6 bar.
L'autonomie étant un des grands avantages de ces matériels, il conviendra de rester dans les limites d'exposition à l'oxygène précisées par les organismes spécialisés comme le « National Oceanic and Atmospheric Administration».

Table NOAA

PpO_2 (en bar)	Exposition maximale lors d'une plongée (Minutes)	Exposition maximale par 24 heures (Minutes)
1.6	45	150
1.5	120	180
1.4	150	180
1.3	180	210
1.2	210	240
1.1	240	270
1.0	300	300
0.9	360	360
0.8	450	450
0.7	570	570
0.6	720	720

- **L'Inondation de la boucle**

L'inondation de la boucle est un risque majeur et elle est propre au recycleur. Celle ci transformera rapidement le contenu de la boucle respiratoire en un cocktail caustique (l'absorbant de CO_2 réagit avec l'eau pour former de la soude) et peut même colmater les circuits. Même s'il existe différentes procédures de rattrapage en fonction des appareils utilisés, la seule solution en cas d'inondation totale passe par l'utilisation d'un circuit ouvert de secours. Il est donc impératif de l'avoir prévu et sa capacité doit être en relation avec la décompression envisagée.

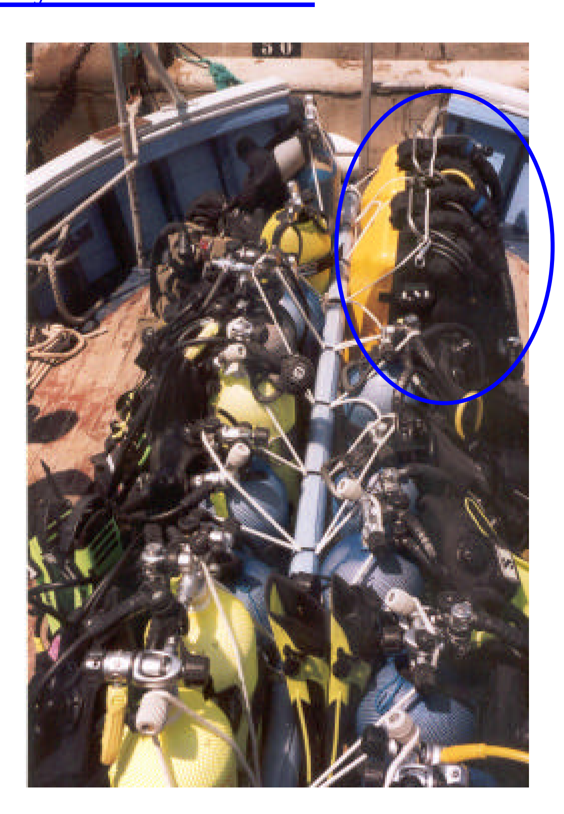
- **Le risque Infectieux**

A partir du moment ou l'on considère le recycleur comme un « prolongement mécanique » de l'appareil respiratoire, le partage du même appareil par plusieurs utilisateurs ne doit s'envisager qu'après une désinfection complète et systématique de la boucle respiratoire. Cette désinfection se réalise à l'aide de produits appropriés. Elle demande de la minutie et un peu de patience.

6. La plongée en structure :

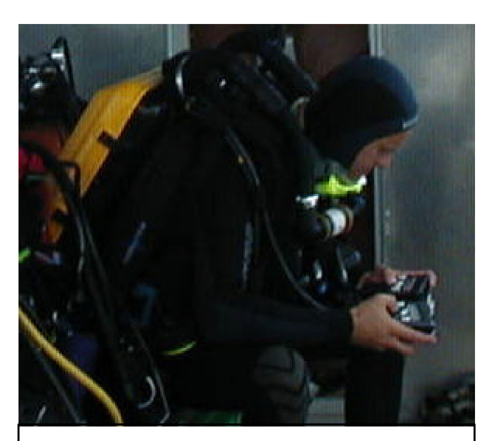
La mixité circuit ouvert et recycleur sur un bateau de plongée soulève un certain nombre de questions auxquelles le directeur de plongée doit être à même de répondre. Dans un premier temps il s'agit de s'assurer du respect de la réglementation en vigueur : niveaux des plongeurs, utilisation des gaz en conformité avec les qualifications demandées par l'arrêté mélange,... bref, le quotidien.
Au delà de la réglementation spécifique, le bon sens doit prévaloir, notamment pour l'organisation sur le bateau et la constitution des palanquées. On respectera donc une certaine homogénéité basée sur les types de recycleurs et les gaz utilisés.

Propositions :
1.Regrouper les plongeurs équipés de recycleurs sur le bateau



Un point fondamental distingue l'utilisation d'un recycleur de celle d'un circuit ouvert : l'attention que l'on doit apporter à son matériel. En effet, en circuit ouvert, une fois la bouteille gréée et la quantité d'air vérifiée, le plongeur est prêt à s'immerger sans délai. En recycleur, il en est tout autrement : « l'avant » et « l'après » plongée sont des instants où l'utilisateur effectue un certain nombre d'opérations primordiales et spécifiques à son matériel.

Avant la plongée : Admettons que les pressions en gaz ont été contrôlées ainsi que la durée d'utilisation de l'absorbant de CO_2. Les vérifications portent alors sur : la bonne étanchéité du système que l'on confirme par des tests de mises sous pression ou dépression de l'ensemble de la boucle respiratoire, la vérification du bon fonctionnement des soupapes anti-retour de l'embout et le suivi à la lettre de la check-list des consoles des appareils à gestion électronique (calibrage des sondes oxygène en fonction de la pression atmosphérique, vérification des setpoints, …).



Vérifications sur un « Inspiration » avant la plongée

Toutes ces procédures nécessitent un minimum d'isolement de concentration généralement peu compatibles avec l'excitation qui caractérise l'avant plongée. Ne soyons pas donc surpris de voir le plongeur en recycleur affairé et donc peu enclin à répondre à toutes les questions que ne manqueront pas de lui poser ses compagnons de plongée. Il partagera avec plaisir la connaissance de son matériel à l'issue de l'exploration…

Après la plongée ou plus couramment après la journée de plongée, l'utilisateur apportera un soin plus important à l'entretien de son matériel que ce qui est couramment constaté avec les circuits ouverts.
La matériel sera abondamment rincé voire désinfecté si il y a partage du matériel par plusieurs utilisateurs (embout et faux poumons). La chaux sodée sera remplacée en fonction de sa durée d'utilisation et les « pleins » en gaz refaits



Rinçage et séchage après une journée de plongée

En synthèse : l'utilisation d'un recycleur demande de la minutie et de la rigueur.

2. Organiser les palanquées en fonction des gaz utilisés. Ce point est identique lors de plongées en circuit ouvert.

3. Privilégier l'homogénéité des matériels.

Exemples : fermé avec fermé et semi fermé avec semi fermé. En effet, la spécificité du matériel influe sur son fonctionnement. En cas de défaillance, on peut imaginer une réaction plus adaptée du coéquipier s'il est déjà utilisateur du même matériel.
En dernier recours, mixer les palanquées circuit ouvert et recycleur sous réserve que les équipiers puissent se porter mutuellement assistance. Cela implique que le plongeur en recycleur dispose d'un « bailout » suffisant pour assister le plongeur en circuit ouvert. Inversement, le plongeur en circuit ouvert devra avoir connaissance des accidents spécifiques à l'utilisation des recycleurs.

CONCLUSION

Il ne serait pas honnête de parler d'invasion concernant les recycleurs. D'un autre côté, et au vu de l'intérêt actuel pour certains d'entre eux, nous ne pouvons pas les ignorer.
La lecture de la première partie de ce mémoire a permis de faire connaissance avec les différentes techniques mises en œuvre dans les recycleurs modernes. La seconde, montre, avec les chapitres utilisation et formation que le choix d'un recycleur conditionne les possibilités d'explorations de son utilisateur.
La technique est connue et maîtrisée depuis longtemps par les constructeurs. Le frein au développement de ces matériels est aujourd'hui financier. Aussi, et pour peu que les fabricants parviennent à améliorer cette situation, nous pouvons leur prédire un bel avenir.

Dès aujourd'hui, la F.F.E.S.S.M. a les cartes en mains pour s'inscrire dans ce schéma et soutenir leur développement. En cela, le rôle de nos cadres techniques est essentiel. Nous devons donc être attentifs aux évolutions techniques de ces matériels. Mais pour nous en faire une opinion concrète et en parler en connaissance de cause, la meilleure solution consiste à tenter l'aventure.

Aussi, je vous souhaite…

…d'excellentes plongées sans bulle.

Références Internet

LES MATERIELS

• www.omg-italy.it	fabricant OMG
• home.worldcom.ch/intruder/ARHsuisse.htm	AHR Suisse
• www.ambientpressurediving.com	fabricant Inspiration
• www.draeger.com	Site Dräger
• www.VR3.co.uk	Delta P Technologies
• www.abysmal.com	fabricant Exploreur
• http://www.halcyon.net	Site Halcyon

LES FORMATIONS

- www.iantd.com
- www.tdisdi.Com
- www.padi.com
- www.naui.com
- www.bsac.org
- www.cmas2000.org
- www.anmp-plongee.com
-

LES CONNAISSANCES GENERALES

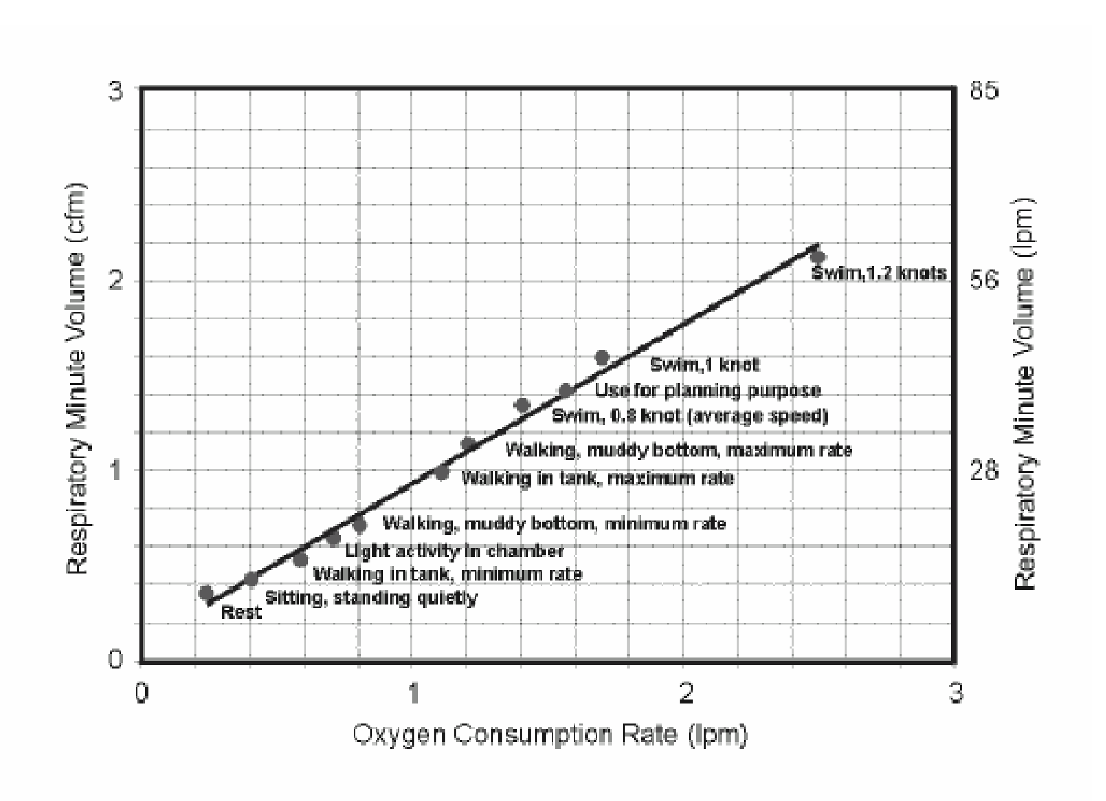
• hippoconsulting.free.fr/ahr/ahr.htm	AHR France
• www.bishopmuseum.org/research/treks/palautz97/rb.html	articles R. L. Pyle
• plongeesout.free.fr	
• www.btinternet.com/~madmole/divemole.htm	
• perso.wanadoo.fr/stephane.havard	

BIBLIOGRAPHIE :

- Decompression sickness — A. Bühlmann
- Mastering rebreathers — J Bozanic
- Manuel de plongée au Nitrox — JL Blanchard JY Kersalé
- Trois inventeurs méconnus — Jacques Michel
- Les plongeurs de l'histoire — Philippe Damon

ANNEXE 1

Consommation d'oxygène en fonction des efforts (source US Navy)



Work	VO_2 (lpm)	RMV (acfm)	RMV (lpm)	Work Level
Rest	0.24	0.35	10	—
Sitting, standing quietly	0.40	0.42	12	Light
Walking in tank, minimum rate	0.58	0.53	15	Light
Light activity in chamber	0.70	0.64	18	Light
Walking, muddy bottom, minimum rate	0.80	0.71	20	Moderate
Walking in tank, maximum rate	1.10	0.99	28	Moderate
Walking, muddy bottom, maximum rate	1.20	1.14	32	Moderate
Swim, 0.8 knot (average speed) (use for planning purposes, round up to 1.4)	1.40	1.34	38	Moderate
Swim, 1 knot	1.70	1.59	45	Heavy
Swim, 1.2 knot	2.50	2.12	60	Severe

ANNEXE 2 : extrait de table Nitrox à ppO$_2$ constante (US Navy)

Table 17-14. Closed-Circuit Mixed-Gas UBA Decompression Table Using 0.7 ata Constant Partial Pressure Oxygen in Nitrogen (Continued).
(DESCENT RATE 60 FPM-ASCENT RATE 30 FPM)

Depth (fsw)	Bottom Time (min.)	Time to First Stop (min:sec)	Decompression Stops (fsw) Stop Times (min) 130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	Total Ascent Time (min:sec)	Repet Group
90	32	3:00													0	3:00	J
	40	2:40													14	17:00	J
	50	2:20												3	28	34:00	L
	60	2:20												17	28	48:00	M
	70	12:00											1	28	28	60:00	N
	Limit Line																
	80	2:00											10	29	34	76:00	*
	90	2:00											19	28	43	93:00	*
	100	2:00											26	28	52	109:00	*
	110	1:40										4	28	32	57	124:00	*
	120	1:40										9	28	40	62	142:00	*
	130	1:40										13	28	49	66	159:00	*
	140	1:40										16	29	56	72	176:00	
	150	1:40										19	36	56	76	190:)0	*
	160	1:40										22	42	57	81	205:00	*
	170	1:40										24	49	57	88	221:00	*
	180	1:40										26	55	61	91	236:00	*
	190	1:40										32	56	67	94	252:00	*
100	27	3:20													0	3:20	I
	30	3:00													6	9:20	J
	35	3:00													17	20:20	J
	40	3:00													28	31:20	K
	45	2:40												10	28	41:20	L
	50	2:40												19	28	50:20	L
	55	2:40												27	29	59:20	M
	60	2:20											7	28	28	66:20	N
	65	2:20											14	28	28	73:20	O
	Limit Line																
	70	2:20											20	28	31	82:20	*
	75	2:20											26	28	36	93:20	*
	80	2:00										3	28	29	41	104:20	*
	90	2:00										13	28	28	52	124:20	*
	100	2:00										21	28	33	61	146:20	*
	110	2:00										27	29	43	65	167:20	*
110	24	3:40													0	3:40	I
	25	3:20													3	6:40	I
	30	3:20													17	20:40	J
	35	3:00												2	28	33:40	K
	40	3:00												14	28	45:40	K
	45	3:00												25	28	56:40	L
	Limit Line																
	50	2:40											7	28	28	66:40	*
	55	2:40											16	28	29	76:40	*
	60	2:40											25	28	28	84:40	*

* Repetitive dives are not authorized for dives below the Limit Line.

ANNEXE 3 : extrait de table Héliox à ppO_2 constante (US Navy)

Table 17-15. Closed-Circuit Mixed-Gas UBA Decompression Table Using 0.7 ata Constant Partial Pressure Oxygen in Helium (Continued).
(DESCENT RATE 60 FPM-ASCENT RATE 30 FPM)

Depth (fsw)	Bottom Time (min.)	Time to First Stop (min:sec)	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	Total Ascent Time (min:sec)
			Decompression Stops (fsw) Stop Times (min)																			
80	170	2:00																		55	113	170:40
	180	2:00																		69	113	184:40
	190	2:00																		82	113	197:40
90	37	3:00																			0	3:00
	40	2:40																			4	7:00
	50	2:40																			15	18:00
	60	2:20																		1	23	27:00
	70	2:20																		7	31	41:00
	80	2:20																		12	38	53:00
	90	2:20																		23	42	66:00
	100	2:20																		31	60	94:00
	110	2:00																	1	37	77	118:00
	120	2:00																	7	37	93	140:00
	Limit Line																					
	130	2:00																	12	45	101	161:00
	140	2:00																	16	54	108	181:00
	150	2:00																	20	65	112	200:00
	160	2:00																	23	80	112	218:00
100	29	3:20																			0	3:20
	30	3:00																			2	5:20
	35	3:00																			11	14:20
	40	3:00																			19	22:20
	50	2:40																		10	22	35:20
	60	2:40																		19	26	48:20
	70	2:20																	3	22	37	65:20
	80	2:20																	7	31	39	80:20
	90	2:20																	12	37	58	110:20
	100	2:20																	21	38	76	138:20
	Limit Line																					
	110	2:20																	30	37	96	166:20
	120	2:20																	36	50	102	191:20
	130	2:00																5	37	61	109	215:20
	140	2:00																10	37	75	113	238:20
110	22	3:40																			0	3:40
	25	3:20																			3	6:40
	30	3:20																			14	17:40
	35	3:00																		3	22	28:40
	40	3:00																		12	22	37:40
	50	2:40																	4	22	22	51:40
	60	2:40																	14	22	31	70:40
	70	2:40																	21	27	37	88:40

ANNEXE 4 : les principales formations

L'objet de cette annexe est de présenter les formations susceptibles d'être rencontrées en France ou à l'étranger. Il s'agit d'une présentation de l'architecture générale des formations recycleurs et non d'un descriptif détaillé des programmes. Le lecteur intéressé par les détails des contenus de formation pourra les consulter directement sur les sites Internet indiqués.

La formation C.M.A.S.

Les contenus sont consultables dans leur intégralité (en anglais) sur le site www.cmas2000.org



LA FILIERE PLONGEUR		LA FILIERE MONITEUR
Plongeur recycleur circuit semi-fermé	———	Moniteur recycleur circuit semi-fermé
Plongeur recycleur confirmé circuit semi-fermé	———	Moniteur recycleur confirmé circuit semi-fermé
Plongeur recycleur circuit fermé	———	Moniteur recycleur circuit fermé

Semi Closed Rebreather Diver C.M.A.S.
Plongeur Recycleur à circuit semi fermé C.M.A.S.

Prérogative : utilisation d'un recycleur à circuit semi fermé avec un mélange de type Nitrox

Conditions de candidature :

- être titulaire d'une qualification CMAS plongeur Nitrox ou d'un brevet admis en équivalence auprès d'une organisation reconnue
- être âgé d'au moins 16 ans
- être en possession d'un certificat médical

Organisation Générale :

- baptême : 1 moniteur pour 1 élève (profondeur maxi. 4 m)
- en plongée : 1 moniteur pour 2 élèves (travail progressif jusqu'à 30 m sans palier de décompression)
- cours pratiques : 1 moniteur pour 6 élèves maxi.
- Enseignant : moniteur CMAS ** minimum muni de la spécialité Moniteur Recycleur CMAS ou équivalent en activité d'enseignement
- tous les équipements recycleurs semi-fermés sont identiques
- approbation du cours par les fabricants des équipements semi-fermés
- Chaque plongée qualifiante doit avoir une durée minimale de 30 minutes (ppO_2 maxi. de 1,6 bar)
- Evaluation théorique : suggérée sous forme d'un examen final écrit
- Evaluation pratique : sous forme d'une journée d'évaluation où le candidat complètera son expérience

Cette formation se déroule sur une durée de 17 heures minimum et 4 plongées de 30' minimum chacune. Elle est répartie en quatre modules.

Premier module : connaissances générales	**12 heures mini**

- cours 1 : histoire des recycleurs/les différents types/concepts généraux
- cours 2 : lois physiques/physiologie/les risques
- cours 3 : les besoins en oxygène/différences entre FiO_2 et FsO_2/planification d'une plongée
- cours 4 : les fonctions d'un recycleur et les différents composants/les interactions avec l'équipement classique/le système de secours (« bailout »)
- cours 5 : les contraintes pratiques et la maintenance

Deuxième module : séances pratiques	**4 heures mini**

- cours 1 : assemblage de l'unité et fonctionnalités
- cours 2 : préparation de l'unité et entretien après plongée

Troisième module : piscine ou espace proche	**1 heure mini**

- plongée espace proche avec exercices

Quatrième module : plongées en milieu naturel

- 4 plongées de 30'minimum avec 3 plongées maxi. par jour
  1 plongée avec exercices maxi. 9 m
  1 plongée avec exercices maxi. 20 m
  1 plongée avec exercices maxi. 40 m
  1 plongée avec exercices maxi. 40 m

Evaluation pratique: plongées en milieu naturel (profondeurs indicatives)
1 plongée maxi. 34 m
1 plongée maxi. 20 m
1 plongée maxi. 14 m

Advanced Semi Closed Rebreather Diver C.M.A.S.
Plongeur Recycleur Confirmé circuit semi fermé C.M.A.S.

Prérogative : utilisation d'un recycleur à circuit semi fermé avec décompression et utilisation d'un second mélange

Conditions de candidature :

- être titulaire d'une qualification CMAS plongeur Nitrox confirmé, d'une qualification plongeur recycleur circuit semi fermé ou d'un brevet admis en équivalence auprès d'une organisation reconnue
- être âgé d'au moins 18 ans
- être en possession d'un certificat médical

Organisation Générale :

- cours pratiques et en plongée : 1 moniteur pour 2 élèves
- cours théoriques : 1 moniteur pour 6 élèves
- enseignant : moniteur CMAS ** minimum muni de la spécialité Moniteur Confirmé Recycleur CMAS ou équivalent en activité d'enseignement
- tous les équipements recycleurs circuits semi-fermés sont identiques
- chaque plongée qualifiante doit avoir une durée minimale de 60 minutes (ppO_2 maxi. de 1,5 bar)

Cette formation se déroule sur une durée de 10 heures minimum et 4 plongées. Elle est répartie en quatre modules.

Premier module : théorie **6 heures mini**

- cours 1 : les différents mélanges/réduction de la décompression par l'utilisation de différents Nitrox/choix des mélanges de gaz fond et de décompression
- cours 2 : fonction et conception de l'équipement/manipulation et test de l'équipement
- cours 3 : rappels physiques/physiologie/toxicité des gaz/accidents
- cours 4 : les besoins en oxygène du plongeur
- cours 5 : choix des gaz/la décompression/gestion des gaz

Deuxième module: séances pratiques **2 heures mini**

- cours 1 : préparation avant la plongée

- cours 2 : entretien après la plongée
- cours 3 : entretien général

Troisième module : piscine ou espace proche 2 heures mini

plongée espace proche avec exercices pratiques/préparation/manipulation après la plongée

Quatrième module : plongées en milieu naturel

4 plongées avec un maxi. de 2 plongées par jour :

1 plongée avec exercices maxi. 9 m
1 plongée avec exercices maxi. 20 m
1 plongée avec exercices maxi. 40 m
1 plongée avec exercices maxi. 40 m

Closed Circuit Rebreather Diver C.M.A.S.
Plongeur Recycleur circuit fermé C.M.A.S.

Prérogative : utilisation d'un recycleur à circuit fermé en utilisant un diluant air

Conditions de candidature :

- être titulaire d'une qualification CMAS plongeur Nitrox ou d'un brevet admis en équivalence auprès d'une organisation reconnue
- être âgé d'au moins 18 ans
- être en possession d'un certificat médical

Organisation Générale :

- cours théoriques et pratiques : 1 moniteur pour 6 élèves
- en plongée : 1 moniteur pour 2 élèves
- enseignant : moniteur CMAS ** minimum muni de la spécialité Recycleur CMAS en activité d'enseignement
- les équipements recycleurs circuits fermés sont identiques
- Chaque plongée qualifiante doit avoir une durée minimale de 30 minutes (ppO_2 maxi. de 1,5 bar)

Cette formation se déroule sur une durée de 18 heures minimum et 4 plongées. Elle est répartie en quatre modules.

Premier module : connaissances générales 12 heures mini

- cours 1 (3 heures) : historique/les différents recycleurs/les différents composants/physiologie/vérifications avant plongée/le filtre épurateur de CO_2
- cours 2 (3 heures) : l'oxygène et sa surveillance/les tables de plongées
- cours 3 (3 heures) : montage/démontage/nettoyage/remplissage de la chaux et des gaz/procédures de secours
- cours 4 (3 heures) : examen écrit

Deuxième module : séances pratiques **4 heures mini**

- cours 1 (2 heures) : vérifications avant la plongée/la boucle respiratoire/surveillance des consoles/nettoyage
- cours 2 (2 heures) : vérifications après la plongée/démontage/nettoyage/remplissage

Troisième module : piscine ou espace proche **2 heures mini**

- piscine 1 (3 heures) : vérifications avant la plongée/familiarisation avec le matériel/lestage
- piscine 2 (3 heures) : procédure d'urgence/ajout d'O_2/ajout de diluant/bailout/problème électronique/inondation de la boucle
- plongée n° 1 : révision en circuit ouvert
- plongée N° 2 : espace proche, longue durée

Quatrième module : plongées en milieu naturel

4 plongées de 30' mini avec un maxi. de 3 plongées par jour

- Plongée n° 3 : 10 à 20 m
- Plongée n° 4 : 10 à 20 m
- Plongée n° 5 : 30 à 40 m
- Plongée n° 6 : 30 à 40 m

Semi Closed Rebreather Instructor C.M.A.S
Moniteur Recycleur circuit semi fermé C.M.A.S.

Conditions de candidature :

- être titulaire d'un diplôme Moniteur CMAS **
- être titulaire d'une qualification CMAS Moniteur Nitrox ou équivalent
- être titulaire d'une qualification CMAS plongeur recycleur semi fermé ou équivalent
- être âgé d'au moins 19 ans
- expérience d'un minimum de 25 plongées avec 25 heures de temps de plongée avec un recycleur semi fermé
- doit avoir participé en tant qu'assistant à au moins une formation plongeur recycleur circuit semi fermé

Organisation Générale :

- examen écrit
- doit démontrer sa capacité à conduire une formation Plongeur recycleur circuit semi fermé

Prérogative :

- organisation, formation et évaluation de la qualification plongeur recycleur semi fermé

Advanced Semi Closed Rebreather Instructor C.M.A.S
Moniteur Recycleur Confirmé à circuit semi fermé C.M.A.S.

Conditions de candidature :

- être titulaire d'un diplôme Moniteur CMAS **
- être titulaire d'une qualification CMAS Moniteur Nitrox Confirmé
- être titulaire d'une qualification CMAS Moniteur recycleur semi fermé

- être âgé d'au moins 18 ans
- expérience d'un minimum de 50 heures de temps de plongée avec un recycleur semi fermé
- doit avoir participé en tant qu'assistant à au moins une formation plongeur confirmé recycleur circuit semi fermé

Organisation Générale :

- examen écrit
- doit démontrer sa capacité à conduire une formation Plongeur Confirmé recycleur circuit semi fermé

Prérogative :

- organisation, formation et évaluation de la qualification plongeur confirmé recycleur semi fermé

Closed Rebreather Instructor C.M.A.S
Moniteur Recycleur circuit fermé C.M.A.S.

Conditions de candidature :

- être titulaire d'un diplôme Moniteur CMAS **
- être titulaire d'une qualification CMAS Moniteur Nitrox
- être âgé d'au moins 18 ans
- expérience d'un minimum de 25 heures de temps de plongée fond en milieu naturel
- doit avoir participé en tant qu'assistant à au moins une formation plongeur recycleur circuit fermé

Organisation Générale :

- examen écrit
- doit démontrer sa capacité à conduire une formation plongeur recycleur

Prérogative :

- organisation, formation et évaluation de la qualification plongeur recycleur fermé

La formation A.N.D.I.
American Nitrox Divers International

Créée en 1989 par les gens du NOAA : Dick Rutkowski
Les contenus sont consultables dans leur intégralité (en anglais) sur le site :
www.andihq.com



LA FILIERE PLONGEUR

Introduction à la plongée en Recycleur circuit fermé

Objectif : découverte des sensations d'une plongée sans bulle avec la technologie du recycleur circuit fermé. Cette formation ne donne pas lieu à une qualification.
Conditions de candidature :

- niveau "open water" minimum

Organisation Générale :

- 2 heures de cours magistraux
- 1 plongée en milieu sécurisé ou milieu naturel délimité

Contenu :

- explication du concept, des éléments constituants l'appareil et leur utilisation

Closed Circuit Rebreather Diver
Plongeur Recycleur circuit fermé

Objectif : permettre à un plongeur certifié d'utiliser un recycleur circuit fermé
Conditions de candidature :

- être un plongeur certifié « open water »
- expérience minimale de 50 plongées

Organisation Générale :

- 18 heures de cours magistraux
- 4 heures d'exercices en environnement sécurisé
- 4 plongées (maxi. 40 m)
- le mélange respiré est un Nitrox
- temps total cumulé en plongée : minimum 150 minutes

Semi Closed Rebreather Diver
Plongeur Recycleur semi fermé

Objectif : permettre à un plongeur certifié d'utiliser un recycleur circuit semi fermé

Conditions de candidature :

- être un plongeur certifié « open water »
- être un plongeur certifié « Complete SafeAir User » (Nitrox)
- expérience minimale de 50 plongées

Organisation Générale :

- 12 heures de cours magistraux
- 3 heures d'exercices en environnement sécurisé
- 4 plongées (maxi. 40 m)
- le mélange respiré est un Nitrox
- Temps total cumulé en plongée : minimum 150 minutes

Technical Rebreather Diver
Plongeur Technique Recycleur

Objectif : complément aux formations recycleurs précédentes en permettant d'atteindre des profondeurs supérieures et de gérer une décompression

Conditions de candidature :

- être un plongeur technique certifié
- être un plongeur recycleur circuit fermé ou semi fermé certifié
- expérience minimale de 100 plongées

Organisation Générale :

- 16 heures de cours magistraux
- 2 heures d'exercices en environnement sécurisé
- 4 plongées (maxi. 50 m)
- le mélange respiré est un Héliox ou un Nitrox
- temps total cumulé en plongée : minimum 150 minutes

Semi Closed Circuit Explorer
Explorateur Recycleur circuit semi fermé

Objectif : C'est le plus haut niveau de formation à l'utilisation de ce type de recycleur. En fonction du gaz embarqué, un semi fermé peut être opérationnel jusqu'à 100 m

Conditions de candidature :

- qualification plongeur technique ANDI + plongeur technique recycleur ANDI + 200 plongées dont 25 techniques

Organisation Générale :

- 20 heures de cours magistraux
- 4 heures d'exercices en environnement sécurisé
- 6 plongées
- temps total cumulé en plongée : minimum 240 minutes

Closed Circuit Explorer
Explorateur Recycleur circuit fermé

Objectif : C'est le plus haut niveau de formation à l'utilisation de ce type de recycleur.

Conditions de candidature :

- qualification plongeur technique ANDI + plongeur technique recycleur ANDI + 200 plongées dont 25 techniques

Organisation Générale :

- 24 heures de cours magistraux
- 4 heures d'exercices en environnement sécurisé

- 6 plongées
- le mélange respiré est soit un Héliox ou un Nitrox
- Temps total cumulé en plongée : minimum 240 minutes
- plongées possibles jusqu'à 100 m

LA FILIERE MONITEUR

- Moniteur Recycleur
- Moniteur Technique Recycleur
- Moniteur Exploration Recycleur

LA FILIERE FORMATEUR DE MONITEUR

- Formateur de Moniteur Recycleur

La formation I.A.N.T.D.

Créée en 1989 par Bill Hamilton et des dissidents de l'ANDI.
Formation non reconnue par la CMAS
Les contenus sont consultables dans leur intégralité (en anglais) sur le site :
www.iantd.com



FILIERE PLONGEUR LOISIR

- Expérience recycleur
- Plongeur recycleur

FILIERE MONITEUR PLONGEE

- Moniteur Recycleur

FILIERE PLONGEUR TECHNIQUE

- Plongeur trimix normoxique circuit ouvert et recycleur
- Plongeur recycleur Trimix

FILIERE MONITEUR TECHNIQUE

- Moniteur trimix normoxique circuit ouvert et recycleur
- Moniteur recycleur Trimix

FILIERE FORMATEUR DE MONITEUR

- Formateur Moniteur trimix normoxique circuit ouvert et recycleur
- Formateur Moniteur trimix circuit ouvert et recycleur
- Formateur Moniteur recycleur semi-fermé
- Formateur Moniteur recycleur fermé

Expérience Recycleur IANTD

Prérogative : Ce programme est conçu pour donner aux plongeurs sportifs une première expérience des recycleurs. Ce cours ne donne pas lieu à une certification.

Conditions de candidature :

- être titulaire d'une qualification de plongeur
- être âgé d'au moins 15 ans
- avoir effectué un minimum de 10 plongées

Organisation Générale :

- 1 moniteur pour 2 élèves maxi..

Contenu :

- l'élève doit démontrer sa capacité à maintenir sa flottabilité avec un recycleur et savoir exécuter des exercices de bases
- Il doit également nager avec l'unité pendant 20 minutes

Plongeur Recycleur IANTD

Prérogative : cette qualification permet de former les plongeurs à une utilisation appropriée des recycleurs.

Conditions de candidature :

- pour la formation circuit semi fermé : être titulaire d'une qualification Nitrox
- pour la formation circuit fermé : être titulaire d'une qualification Nitrox confirmé
- être âgé de 18 ans

Organisation Générale :

- les plongeurs qui veulent acquérir une qualification sur un matériel spécifique doivent effectuer les épreuves sur ce même matériel
- 4 élèves maxi. par moniteur
- profondeur maximale de 39 m
- une ppO_2 maxi. de 1,4 bar lors de la plongée (ou préconisations des constructeurs) et 1,6 bar pour la profondeur maxi.
- il est recommandé que le moniteur dispose d'un recycleur pour les démonstrations

Contenu :

semi fermé :

- 240 minutes de plongées minimum avec le recycleur correspondant à la formation (milieu sécurisé et naturel) avec un minimum de 4 plongées en milieu naturel d'une durée minimale unitaire de 30 minutes
- ce programme se déroule habituellement en 4 jours
- pour une requalification sur un autre matériel, il est demandé un minimum de 160 minutes de plongées lors de 2 plongées au minimum

fermé :

- 360 minutes de plongées minimum avec le recycleur correspondant à la formation (milieu sécurisé et naturel) avec un minimum de 6 plongées en milieu naturel d'une durée minimale unitaire de 30 minutes
- ce programme se déroule habituellement en 6 jours
- pour une requalification sur un autre matériel, il est demandé un minimum de 300 minutes de plongées (milieu naturel et sécurisé) avec au minimum 2 plongées en milieu naturel
- pour se qualifier d'un recycleur semi fermé à un recycleur fermé, il faut réaliser 360 minutes de plongée (milieu naturel et sécurisé) avec au minimum 4 plongées en milieu naturel

Ces contenus de formation constituent un minimum.
Certains matériels nécessitent des compléments de formation exigés par des fabricants

Moniteur Recycleur IANTD

Prérogative : enseigner l'utilisation d'un recycleur
Conditions de candidature :

- être titulaire d'une qualification Nitrox confirmé IANTD et plongeur recycleur IANTD ou équivalent
- être reconnu par IANTD comme étant en activité d'enseignement
- le moniteur doit avoir conduit un minimum de 2 formations Nitrox, 2 formations Nitrox confirmé et 2 formations de plongeur profond
- enseignement semi fermé : expérience de 150 plongées minimum et 20 heures minimum de plongée recycleur dont 20 au moins sur le modèle de recycleur enseigné
- enseignement fermé : expérience de 200 plongées minimum et 100 heures minimum de plongée recycleur dont 50 au moins sur le modèle de recycleur enseigné
- doit avoir suivi une formation sur le modèle de recycleur utilisé en tant qu'assistant
- être âgé d'au moins 21 ans

Organisation Générale :

- celle du plongeur recycleur
- le moniteur doit conduire un minimum de 2 formations recycleurs par an pour voir sa qualification renouvelée

Contenu :

- celui du plongeur recycleur :

semi fermé :

4 jours de formation

fermé :

6 jours de formation

Plongeur Recycleur Trimix normoxique IANTD

Prérogative : cette qualification permet de former des plongeurs à l'utilisation d'un recycleur utilisant un Trimix normoxique entre 39 et 51 m
Conditions de candidature :

- être titulaire d'une qualification Nitrox confirmé
- avoir 18 ans
- expérience minimum de 20 plongées en recycleur et 25 heures sur le recycleur utilisé pendant la formation.

Organisation Générale :

- 4 élèves maxi. par moniteur
- aucune plongée supérieure à 51 m
- ppO_2 maxi. de 1,3 bar lors de la plongée et 1,4 bar maxi. pour la décompression
- les plongées Trimix contiennent au moins 20% d'oxygène (+/- 1%) et un maxi. de 30 % (+/- 1%) pour l'hélium
- la profondeur équivalente narcose ne doit excéder 36 m

Contenu :

- un minimum de 2 plongées air ou Nitrox ou Trimix ou diluant à une profondeur maxi. de 39 m
- un minimum de 3 plongées Trimix entre 39 et 51 m dont au moins une plongée à 51 m
- une utilisation minimale du runtime de 280 minutes incluant des plongées air, Nitrox et Trimix

Plongeur Recycleur Trimix IANTD

Prérogative : cette qualification permet de former les plongeurs à l'utilisation d'un Trimix à une profondeur supérieure de 51 m

Conditions de candidature :

- être titulaire d'une qualification recycleur IANTD ou équivalent
- avoir 18 ans
- expérience minimum de 200 plongées en recycleur dont au moins 50 sur le recycleur utilisé pendant la formation.

Organisation générale :

- 2 élèves maxi. par moniteur
- toutes les plongées ont lieu entre 39 et 79 m
- ppO_2 maxi. de 1,4 bar lors de la plongée (ou moins si recommandation constructeur) et une ppO_2 maxi. de 1,6 bar pour le diluant ou le gaz fourni à la profondeur maximale d'évolution

Contenu :

Un minimum de 250 minutes de « runtime » en utilisant un Trimix ou un héliox réalisé avec au moins 4 plongées.

Si la formation couvre le programme plongeur Trimix normoxique et plongeur Trimix un minimum de 480 minutes de runtime doivent être effectuées lors d'au moins 8 plongées. Au moins l'une d'entre elles est effectuée à une profondeur supérieure à 60 m

Moniteur Recycleur Trimix Normoxic IANTD

Prérogative : cette qualification permet de former les moniteurs à l'utilisation de recycleurs avec un Trimix normoxique

Conditions de candidature :

- être titulaire d'une qualification Moniteur recycleur Nitrox IANTD avec une expérience de 2 ans d'enseignement
- doit avoir conduit un minimum de 6 formations Nitrox confirmé et 6 formations recycleur
- doit détenir la qualification Moniteur Trimix Normoxique IANTD
- avoir 21 ans
- expérience minimum de 750 plongées dont 200 au moins au mélange

Organisation Générale :

Le moniteur doit conduire ou assister à un minimum de 2 formations recycleurs par an pour voir sa qualification renouvelée

Contenu :

un programme de 4 jours de formation

Moniteur Recycleur Trimix IANTD

Prérogative : cette qualification permet de former les moniteurs à l'utilisation de recycleurs avec des mélanges

Conditions de candidature :

- être titulaire d'une qualification Moniteur recycleur Nitrox IANTD avec une expérience de 2 ans d'enseignement
- doit avoir conduit un minimum de 6 formations Nitrox confirmé et 6 formations recycleur
- doit détenir la qualification Moniteur Trimix IANTD
- avoir 21 ans
- expérience minimum de 750 plongées dont 100 au moins en recycleur
- avant d'enseigner sur un matériel, le moniteur doit avoir suivi la formation reconnue par le constructeur et avoir un minimum de 150 heures de plongée

Organisation Générale :
Le moniteur doit conduire ou assister à un minimum de 2 formations recycleurs par an pour voir sa qualification renouvelée

Contenu :
un programme de 5 jours de formation

L'accession aux filières de formateurs de moniteurs :

recycleur Trimix normoxique
recycleur Trimix
recycleur semi fermé
recycleur fermé

Cette accession est conditionnée par la détention de la qualification IANTD appropriée ainsi que par une expérience de formation proprement dite
Chaque recycleur dispose de son propre programme de formation et la palette IANTD est vaste :

Cis-Lunar MK-5P CCR Diver/Trimix Cis-Lunar MK-5P CCR Diver/Cis-Lunar MK-5P CCR Instructor/Cis-Lunar MK-5P CCR Trimix Instructor
Cochran Pro CCR Diver/Cochran Pro CCR Instructor
Dräger Dolphin SCR Diver/Dräger Dolphin SCR Instructor/Dräger Ray SCR Diver/Dräger Ray SCR Instructor
Halcyon SCR Diver/Halcyon SCR Instructor/Halcyon II SCR Diver/Halcyon II SCR Instructor
Buddy Inspiration CCR Diver/Normoxic Inspiration CCR Diver/Trimix Buddy Inspiration CCR Diver/Inspiration CCR Instructor/Trimix Buddy Inspiration CCR Instructor
K-3 Advantage SCR Diver/K–3 Advantage SCR Instructor/Normoxic Trimix K-3 SCR Diver/Trimix K-3 SCR Diver/
Trimix K-3 SCR Instructor
MK-15/15.5, MK-16, CCR-1000, CCR-500 & SM-1600 CCR Diver
MK-15/15.5, MK-16, CCR-1000, CCR-500 & SM-1600 Instructor
Normoxic MK-15/15.5, MK-16, CCR-1000, CCR-500 & SM-1600 CCR Diver
Trimix MK-15/15.5, MK-16, CCR-1000, CCR-500 & SM-1600 Diver
Trimix MK-15/15.5, MK-16, CCR-1000, CCR-500 & SM-1600 Instructor
Prism Topaz CCR Diver/Prism Topaz CCR Instructor
CCR 2000 Rebreather diver/CCR 2000 Instructor/Normoxic Trimix CCR 2000 Diver/Trimix CCR 2000 Diver/Trimix CCR 2000 Instructor

La formation T.D.I.

Créée en 1994 par Bret Gillian. Equivalences avec Nitrox CMAS
Les contenus sont consultables dans leur intégralité (en anglais) sur le site :
www.tdisdi.com



Plongeur Recycleur semi fermé Atlantis, Dolphin, Ray

Prérogative : utilisation des recycleurs semi-fermés Dräger.
Profondeur maximale pour l'Atlantis et le Dolphin de 40 m et 22 m pour le Ray
Conditions de candidature :

- être âgé de 15 ans
- détenir une qualification Nitrox TDI ou jugée équivalente par le moniteur

Organisation Générale :

- formation assurée par un instructeur recycleur TDI en activité
- 4 plongées avec une durée totale minimum de 100 minutes
- 6 heures minimum de cours
- 6 plongeurs maxi par instructeur en plongée
- ppO_2 maxi 1.6 en plongée

Contenu :

- théorique : histoire des recycleurs, les différents types, les éléments d'un recycleur et leur entretien, autonomie, toxicité des gaz, procédures de décompression (tables et ordinateurs), planification des plongées
- pratique : analyse des gaz, vérifications avant la plongée, respect des limites d'évolution de la plongée, maintien des paliers aux profondeurs prévues, exécution de la procédure de secours (bailout), démontage et entretien du recycleur

FILIERE MONITEUR

Plongeur Recycleur semi fermé Atlantis, Dolphin, Ray
Plongeur Recycleur semi fermé Azimuth

La formation N.A.U.I.

Créée en 1960

Les contenus sont consultables dans leur intégralité (en anglais) sur le site :

www.nauiww.org



The NAUI Training Progression

NAUI Scuba Instructor

Note: *Some courses have prerequisites, please check with your NAUI Instructor to determine what those are for a specific course.*

NAUI Leadership Certifications

- Divemaster
- Skindiving Instructor
- Assistant Instructor

NAUI Technical Diver Courses

- Technical EANx Diver
- Decompression Techniques
- Extended Range Diver
- Gas Blending & O_2 Service Technician
- Technical Penetration Wreck Diver
- Tri-mix Diver - Level 1
- Tri-mix Diver - Level 2
- Semi-closed Circuit Rebreather Diver
- Closed Circuit Rebreather Diver

Master Scuba Diver

Advanced Scuba Diver / Junior Advanced Scuba Diver

NAUI Specialty Diver and Recognition Courses

- Entry Scuba Experience / PDP
- Night Diver
- Underwater Environment
- Underwater Hunter & Collector
- Search & Recovery Diver
- Underwater Photographer
- Underwater Archeologist
- Underwater Ecologist
- Scuba Rescue Diver
- Advanced Scuba Rescue Diver
- Training Assistant
- Wreck Diver (External Survey)
- Wreck Diver (Penetration)
- Dry Suit Diver
- Ice Diver
- Deep Diver
- Cavern Diver
- Cave Diver
- Enriched Air Nitrox (EANx) Diver
- More...

Scuba Diver / Junior Scuba Diver

Skindiver / Junior Skindiver

Plongeur en recycleur semi fermé

Pas de détail fourni.
Cet enseignement apporte au plongeur les compétences et les connaissances nécessaires pour minimiser les risques liés à l'utilisation d'un circuit semi fermé à une profondeur maximale de 40 m.
Avant que NAUI n'autorise une formation sur un recycleur, celui ci doit avoir été testé par un organisme indépendant.

Plongeur en recycleur circuit fermé

Cet enseignement apporte au plongeur les compétences et les connaissances nécessaires pour minimiser les risques liés à l'utilisation d'un circuit fermé à une profondeur maximale de 40 m

Prérogative : les plongeurs titulaires de cette qualification sont compétents pour utiliser un circuit fermé jusqu'à 40 m
Conditions de candidature :

- être titulaire d'une qualification NAUI Nitrox
- avoir 21 ans
- expérience minimale de 75 plongées
- certificat médical avec radio des poumons et examen de capacité pulmonaire datant de moins de 2 ans

Organisation Générale :

- cours magistraux et travaux pratiques : 16 heures
- plongée en environnement sécurisé : 5 heures
- 6 plongées (sans palier de décompression, profondeur maximale de 30 m et ppO_2 max. de 1.4 bar)

La formation P.A.D.I.

Les contenus sont consultables dans leur intégralité (en anglais) sur le site :
www.padi.com



Plongeur Recycleur semi fermé requis/Atlantis

Prérogative : introduction à l'utilisation des Dräger semi fermé Dolphin et Atlantis
Conditions de candidature :

- être âgé de 15 ans
- détenir une qualification PADI « Advance Open Diver » ou « Open Water Diver » avec 10 plongées et une qualification Nitrox PADI

Organisation Générale :

- 24 heures de formation minimum
- 3 plongées minimum en milieu naturel sur plus d'une journée

Contenu :

- planification
- organisation
- procédures
- problèmes et risques potentiels de la plongée en recycleur semi fermé
- maintenance et procédures spécifiques à l'Atlantis et au Dolphin

Plongeur Recycleur semi fermé Ray

Prérogative : introduction à l'utilisation du Dräger semi fermé Ray
Conditions de candidature :

- être âgé de 15 ans
- détenir une qualification PADI « Advance Open Diver » ou « Open Water » avec 10 plongées et une qualification Nitrox PADI

Organisation Générale :

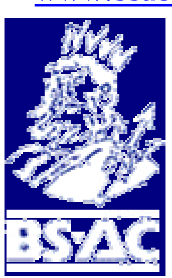
- 24 heures de formation minimum
- 3 plongées minimum en milieu naturel

Contenu :

- planification
- procédures
- organisation
- problèmes et risques potentiels de la plongée en recycleur semi fermé
- maintenance et procédures spécifiques au Ray

La formation B.S.A.C.

www.bsac.com



Les qualifications recycleurs ne sont pas toutes indiquées sur le site au moment où nous réalisons ce document.
On y trouve seulement mentionnées les formations suivantes :

Expérience recycleur en piscine
Sensibilisation à la plongée en recycleur

Il conviendra de re- consulter ce site dans quelques mois.
BSAC a créé un groupe de travail recycleurs qui est chargé d'évaluer les nouveaux recycleurs du marché, d'évaluer les formations existantes et de déterminer leur intégration dans la formation anglaise.
Depuis le 1er janvier 2002, les qualifications minimales préalables à l'utilisation d'un recycleur sont :

- pour le circuit semi fermé : « Sport Diver » avec une qualification Nitrox
- pour le circuit fermé : « Sport Diver » avec une qualification Nitrox confirmé

Principales recommandations du groupe de travail :

- les plongeurs en recycleur devraient emporter une seconde source d'air avec son propre détendeur. Sa capacité est en relation avec les caractéristiques de la plongée.
- remontée : rinçage préconisé de la boucle avant la remontée pour s'assurer que la ppO_2 soit à son maximum
- ne pas faire d'apnée en recycleur
- vérification de la présence de bulles à 6 m (« bubble check »)
- l'équipier d'un plongeur en recycleur est par ordre de préférence :
  - un autre plongeur en recycleur (circuit fermé avec circuit fermé et semi fermé avec semi fermé)
  - un autre plongeur avec un type différent de recycleur
  - un plongeur en circuit ouvert (sous certaines conditions)
- retour en surface avec un minimum de 50 bars dans chaque bouteille
- chaque plongée avec décompression doit prévoir une procédure de secours
- plongée limitée à 40 m
- pour les recycleurs semi fermés, vérification du débit avant chaque plongée
- le diluant utilisé est de l'air. L'utilisation du Trimix n'est pas recommandée
- plongées successives : suivre les recommandations NOAA
- les plongeurs recycleurs qui veulent plonger dans le cadre BSAC doivent avoir suivi une formation reconnue par le fabricant avec un organisme de formation reconnu.
- Il existe une liste des recycleurs approuvés par BSAC
- pour les recycleurs circuit fermé, le « set point » maxi doit être de 1.3
- déplacements en surface : utilisation recommandée d'un détendeur circuit ouvert pour éviter l'hypoxie
- formations recycleurs reconnues par BSAC :

- ANDI
- IANTD
- PADI
- RAB
- TDI
-

Les recycleurs approuvés par BSAC :

- semi fermés : Dräger Atlantis ou Dolfin, Dräger Ray, Azimuth
- fermé : Inspiration

La formation S.N.M.P.

www.snmp-plongee.com



Plongeur recycleur Dolphin et Ray

Note :
Compte tenu des similitudes de fonctionnement existant entre le *DOLPHIN* et le *RAY*, la formation peut préparer simultanément au brevet de *plongeur recycleur DOLPHIN* et *plongeur recycleur RAY* dans la mesure où la formation se déroule à part égale avec l'un et l'autre de ces appareils.

Conditions pour entrer en formation :

- être âgé de 18 ans
- être en possession d'un niveau 3 de plongeur
- être en possession d'un brevet de plongeur Nitrox
- la formation de plongeur Nitrox peut être conduite simultanément avec la formation de plongeur recycleur.

Capacités :

Le plongeur recycleur est capable de:

- choisir, analyser et marquer son bloc
- préparer et vérifier son recycleur
- planifier et gérer les paramètres de plongée simple et successive avec recycleur
- démonter et nettoyer son appareil.

Compétences :

- utilisation des Nitrox 32, 40, 50 et 60% en fonction de la configuration du recycleur
- évolution dans la zone des 40 mètres

FORMATION

Préparation de la plongée:
Choix analyse et marquage du bloc.
Préparation et vérification de l'appareil en utilisant une liste de contrôle.
Choix et mise en place du lest.
Gestion de la plongée:
Contrôle de la flottabilité.
Contrôle de la respiration.
Gestion du stress :
Simulation de la perte de l'embout: en lâchant l'embout fermé et en le récupérant, puis en lâchant l'embout ouvert et en le récupérant.
Simulation d'un dysfonctionnement de l'appareil en quittant l'embout une fois fermé et en prenant le détendeur de secours pour remonter.

L'après plongée :
Démontage de l'appareil.
Nettoyage des éléments de la boucle respiratoire.
Vidage ou vérification et marquage de la cartouche de chaux sodée.
Rangement des éléments.

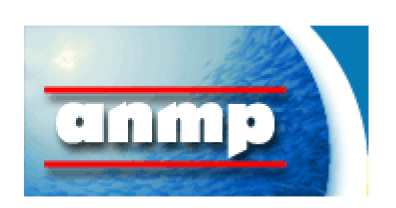
La formation nécessite au minimum 8 plongées dont 6 au moins en milieu naturel pour une durée totale minimum de 240 minutes.

Théorie :
Historique des recycleurs
Principes des recycleurs
Avantages et inconvénients des différents choix technologiques utilisés
Connaissances du fonctionnement et de l'entretien du Dolphin ou du Ray selon le manuel DRAGER.
Les pressions, la loi de Dalton
La planification de la plongée ; choix du mélange, mélange respiré, profondeur maxi. d'utilisation, autonomie.
La législation, les reconnaissances des brevets dans le monde, les formations de plongée aux mélanges de la CIPP.
+ la théorie du plongeur Nitrox si les deux formations sont associées.

Evaluation :
L'évaluation se fait en contrôle continu avec un examen écrit (noté 8/10 minimum).
La formation et l'évaluation se font sous le contrôle direct d'un moniteur recycleur SNMP/CIPP.

La formation A.N.M.P.

Les contenus sont consultables dans leur intégralité sur le site :
www.anmp-plongee.com



Plongeur en recycleur semi fermé

Conditions de candidature :

- être âgé de 18 ans le jour de la certification
- titulaire qu'une qualification Niveau 3 ANMP ou équivalent
- titulaire d'une qualification Nitrox Confirmé ou équivalent

Modalités :

- au moins 4 plongées et 240' de temps de plongée
- formation dans la zone 0-40 m par un moniteur Nitrox ANMP qualifié recycleur semi fermé

Contenu :

- 1er module : préparation des plongées en recycleur
  - principe et technologie des recycleurs
  - perfectionner les connaissances sur les spécificités et les dangers de l'oxygène et des Nitrox
  - connaître les spécificités et les risques liés à l'utilisation des recycleurs semi fermés
- 2ème module :évolution en palanquée en recycleur
  - gérer la préparation de l'équipement individuel
  - gérer individuellement des situations d'urgence
  - identifier les difficultés d'un de ses équipiers en recycleur et l'assister
  - évoluer en palanquée en plongée au recycleur semi fermé, dans le cadre de ses prérogatives

La formation G.U.E.

Les contenus sont consultables dans leur intégralité (en anglais) sur le site :
www.gue.com/classroom/rebreather.shtml



<u>Remarque :</u> G.U.E. dispose de l'exclusivité de la formation obligatoire avant de pouvoir acquérir un matériel de type Halcyon

Recycleur 1

<u>Objectifs :</u> donner des connaissances générales sur les recycleurs, initiation à l'utilisation du Nitrox, formation les plongeurs à l'utilisation du semi fermé Halcyon.

<u>Conditions de candidature :</u>

- être âgé d'au moins 18 ans
- expérience d'un minimum de 75 plongées d'explorations
- être capable de parcourir 18 mètres en apnée
- être capable de nager 275 m sans s'arrêter en moins de 12 minutes
- doit remplir les conditions d'entrée G.U.E.

<u>Organisation Générale :</u>

- 40 heures d'instruction totale répartie sur 5 jours dont au moins 10 plongées
- 1 moniteur pour 4 élèves maxi.
- profondeur maximale de la plongée 30 m +/- 9m

<u>Contenu :</u>

- historique
- les composants d'un recycleur et leur fonctionnement
- les risques liés au recycleur
- introduction à l'Halcyon
- les alertes et alarmes de l'Halcyon
- les lois physiques
- la configuration plongée
- la conception « DIR » recycleur
- l'identification des problèmes et leur gestion
- préparation avant plongée/choix des gaz/absorbant de CO_2/vérifications
- planning avant plongée
- plongée avec l'Halcyon

Recycleur 2

Objectifs : donner des connaissances approfondies sur l'utilisation de l'Halcyon avec des plongées et décompression autres que l'air. Permet au plongeur en recycleur d'acquérir de l'expérience.

Conditions de candidature :

- être âgé d'au moins 18 ans
- doit remplir les conditions d'entrée G.U.E.
- avoir suivi la formation GUE Tech Diver 1 et Rebreather 1
- expérience d'un minimum de 200 plongées
- expérience de 100 heures en Halcyon
- être capable de parcourir 18 mètres en apnée
- être capable de nager 365 m sans s'arrêter en moins de 14 minutes

Organisation Générale :

- 40 heures d'instruction totale répartie sur 5 jours dont au moins 8 plongées (2 au moins trimix)
- 1 moniteur pour 3 élèves maxi.
- profondeur maximale de la plongée 45 m

Contenu :

- objectifs
- les composants d'un recycleur et leur fonctionnement
- les risques liés au recycleur
- introduction à l'Halcyon
- les alertes et alarmes de l'Halcyon
- les lois physiques
- la configuration plongée
- la conception « DIR » recycleur
- l'identification des problèmes et leur gestion
- préparation avant plongée/choix des gaz/absorbant de CO_2/vérifications
- planning avant plongée
- plongée avec l'Halcyon
- procédures après plongée

ANNEXE 5 : lexique Anglais/Français

Ambient pressure	*pression ambiante*
Bailout	*circuit ouvert de secours*
Breath	*respiration*
Breathing hose	*tuyau respiratoire*
Breathing loop	*boucle respiratoire*
Buoyancy compensator	*gilet de stabilisation*
Bubble check	*vérification des fuites*
Buddy	*co-équipier*
Calibrate	*étalonner*
Calibration	*étalonnage*
Canister/scrubber	*filtre épurateur*
Cartridge	*cartouche*
Check	*vérifier*
Clean	*nettoyer*
Close	*fermé*
Closed Circuit Rebreather	*recyc. circuit fermé*
Cylinder	*bouteille*
Counterlung	*faux poumon*
CO_2 absorbent	*absorbant de* CO_2
Deep	*profond*
Depth	*profondeur*
Device	*unité*
Diluent	*diluant*
Disinfect	*désinfecter*
Display	*affichage*
Dive	*plongée*
Diver	*plongeur*
Emergency procedure	*procédure d'urgence*
Exhale	*expiration*
Exhaust valve	*soup. de surpression*
Exposure limit	*exposition maximale*
First stage	*premier étage*
Flooded loop	*boucle inondée*
Flush	*rinçage*
Gas consumption	*consommation de gaz*
Handset	*console*
Harness	*harnais*
High	*élévé*
Hose	*tuyau*
Hypercapnia	*hypercapnie*
Hyperoxia	hyperoxie
Hypoxia	hypoxie
Inhale	*inhalation*
Inflator	*inflateur*
Leak	*fuite*
Loop	*boucle*
Low	*bas*
Master	*maître/principal*
Moisture	*humidité*
Mouthpiece	*embout*
Nitrogen	*azote*
O_2 cell	*cellule oxygène*
Open	*ouvert*
Open Circuit (OC)	*circuit ouvert*
O Ring	*joint torique*
Over pressure	*surpression*
Pre/post dive	*avant/après plongée*
Rebreather	*recycleur*
Screen display	*écran d'affichage*
Screw/unscrew	*visser/dévisser*
Second stage	*second étage*
Semi Closed Rebreather	*rec. circuit semi-fermé*
Setpoint	*seuil*
Slave	*esclave/secondaire*
Spare part	*pièce de rechange*
Switch on/off	*allumer/éteindre*
Valve	*robinet de conservation*
Warning	*alerte*
Weight	*poids*